НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра електропостачання

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Олена БОРИЧЕНКО
«___»_____2026 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
на тему: «Комплексна модернізація систем енергозабезпечення гуртожитку»

Виконав:
студент IV курсу, групи ОН-21
Павленко Д.О. _____
Керівник:
доцент, к. т. н., доцент,
Находов В. Ф. _____
Консультант з теплової частини:
доцент, к.т.н., доцент
Шовкалюк М.М. _____
Консультант з охорони праці:
професор, д.т.н., професор
Третякова Л.Д. _____
Консультант з нормоконтролю:
пров.інженер
Прокопенко І.Д. _____
Рецензент:
доцент кафедри АЕМК, к. т. н., доцент
Босак Алла Василівна _____

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент (-ка) _____

Київ - 2026 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	А4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	А4	ДП 0122. 00.012 ПЗ	Пояснювальна записка	81	
3	А1	ДП 0122. 01.012	Результати енергетичного обстеження системи теплопостачання будівлі	1	
4	А1	ДП 0122. 02.012	Результати енергетичного обстеження системи електропостачання будівлі	1	
5	А1	ДП 0122. 03.012	Однолінійна електрична схема гуртожитку № 13 КПІ ім Ігоря Сікорського	1	
6	А1	ДП 0122. 04.012	Схема теплопостачання гуртожитку №13 КПІ ім. Ігоря Сікорського	1	

				ДП 0122 012		
	ПІБ	Підпис	Дата			
Розробн.	Павленко			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Находов				1	1
Консульт.	Третякова				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ЕП Гр ОН-21	
Н. контр.	Прокопенко					
Зав. каф.	Бориченко					

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Комплексна модернізація систем енергозабезпечення гуртожитку»

Київ - 2026 року

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра електропостачання

Рівень вищої освіти - перший (бакалаврський)
Спеціальність - 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олена БОРИЧЕНКО

«___»_____2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Павленку Дмитру Олександровичу

1. Тема проєкту «Комплексна модернізація систем енергозабезпечення гуртожитку », керівник проєкту Находов В.Ф, доцент, д. т. н., затверджені наказом по університету від 29.05.2026 р. № 2183-с
2. Термін подання студентом проєкту: 10.06.2026
3. Вихідні дані до проєкту: загальний опис будівлі гуртожитку №13, споживання води, електричної та теплової енергії за останні три роки, план будівлі.
4. Зміст пояснювальної записки:

а) електрична частина: схема електропостачання об’єкту та її аналіз: повірочний розрахунок навантажень будівлі: повірочний розрахунок системи освітлення будівлі: складання електричного балансу: аналіз систем обліку та моніторингу споживання; типові заходи з енергоефективності для суттєвих споживачів електричної енергії.

б) теплова частина: визначення теплового навантаження: аналіз розрахункових та фактичних даних: розроблення типових заходів для огороджувальних конструкцій та інженерних мереж.

в) рекомендації для розвитку енергетичного менеджменту, аналіз існуючого стану та тенденцій на подібних об’єктах

г) оцінка можливостей застосування вторинних та відновлюваних джерел енергії на об’єкті

д) охорона праці та пожежна безпека: охорона праці та пожежна безпека під час модернізації системи освітлення гуртожитку

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо):

1)Схема електропостачання гуртожитку № 13.

2)Результати енергетичного обстеження електропостачальної системи гуртожитку № 13.

3)Схема теплопостачання гуртожитку № 13.

4)Результати енергетичного обстеження теплопостачання гуртожитку № 13.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Теплова частина	Шовкалюк М.М., доцент		
Охорона праці	Третякова Л.Д., професор		

7. Дата видачі завдання: 19.05.2026 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Розрахунок електричної частини	23.05-29.05.26	
2	Розрахунок теплової частини	29.05-02.06.26	
3	Рекомендації для розвитку енергоменеджменту	02.06-05.06.26	
4	Оцінка можливостей впровадження відновлювальних джерел енергії	05.06-08.06.26	
5	Розрахунок частини охорони праці та пожежної безпеки	06.06-10.06.26	
6	Підготовка графічного матеріалу	10.06-13.06.26	
7	Захист дипломного проєкту	19.06.2026	

Студент

Керівник

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту складається з 6 розділів та містить 81 сторінок основного тексту. В основному тексті роботи наведено 21 ілюстрацій, 30 таблиць та 24 бібліографічних найменування за переліком посилань.

Дана робота спрямована на підвищення енергоефективності гуртожитку №13 шляхом аналізу енергетичних систем. Розглядається доцільність та можливість використання відновлюваних джерел енергії. Пропонуються енергоефективні заходи в результаті яких підвищиться економія фінансового ресурсу шляхом зменшення споживання енергії в будівлі.

Ключові слова: ЕНЕРГІЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ВИТРАТИ, СПОЖИВАННЯ, ЕКОНОМІЯ.

ABSTRACT

The explanatory note to the diploma project consists of 6 chapters and contains 81 pages of the main text. The main text contains 21 illustrations, 30 tables and 24 bibliographic references.

This work is aimed at improving the energy efficiency of dormitory No. 13 by analyzing energy systems. The expediency and possibility of using renewable energy sources are considered. Energy-efficient measures are proposed, which will result in increased savings of financial resources by reducing energy consumption in the building.

Keywords: ENERGY, ENERGY EFFICIENCY, COSTS, CONSUMPTION, SAVINGS.

ЗМІСТ

ВСТУП 13
1 ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТУ 14
1.1 Короткий опис об'єкту 14
1.2 Короткий опис інженерних мереж будівлі 15
1.3 Аналіз динаміки споживання ПЕР за останні три роки 16
1.4 Оцінка тарифної політики щодо покупних ПЕР 21
1.5 Коротка характеристика попередньої діяльності об'єкту у сфері енергоефективності 22
Висновки до розділу 1 22
2 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ 24
2.1 Схема електропостачання об'єкта та її аналіз 24
2.2 Коротка характеристика та оцінка енергоефективності споживачів електричної енергії 26
2.3 Повірочний розрахунок навантажень будівлі 27
2.4 Повірочний розрахунок системи внутрішнього електричного приміщення 29
2.5 Розрахунок основних складових для складання балансу споживання електричної енергії об'єкту у аналітичній формі 30
2.6 Оцінка стану та ефективності систем обліку та моніторингу споживання електричної енергії на об'єкті 32
2.7 Розроблення типових заходів з енергоефективності для суттєвих споживачів електричної енергії 33
Висновки до розділу 2 36
3 ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ ТА ЗАХОДІВ З ЙОГО ПІДВИЩЕННЯ 37
3.1 Огляд нормативних вимог щодо енергетичної ефективності в будівлях 37

3.2 Визначення теплового навантаження будівлі 38
3.3 Аналіз розрахункових та фактичних даних по споживанню з приведенням до нормативних погодних умов 42
3.4 Розроблення типових заходів з енергоефективності для огороджувальних конструкцій 43
3.5 Розроблення типових заходів з енергоефективності для інженерних систем будівлі та джерел енергії 46
Висновки до розділу 3 48
4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ 50
4.1 Аналіз існуючого стану та сучасних тенденцій розвитку енергоменеджменту 50
4.2 Рекомендації щодо розвитку систем обліку та моніторингу споживання енергії та ресурсів 52
4.3 Рекомендації щодо організаційно-управлінських заходів 54
Висновок до розділу 4: 55
5 ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ ВДОСКОНАЛЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ ТА ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ 56
5.1 Характеристика відновлювальних та нетрадиційних джерел енергії . 56
5.2 Сонячна енергетика в Україні 57
5.3 Потенціал використання в Україні 58
5.4 Ефективність та види сонячних фотомодулів 59
5.5 Основний розрахунок ФЕС 60
5.6 Вхідні географічні данні для проектування 63
5.7 Генерація електричної енергії від сонячного випромінювання 64
5.8 Техніко-економічне обгрунтування системи 66
Висновок до розділу 5 67
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС МОНТАЖУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДАХОВОЇ СЕС 68
6.1 Загальна характеристика об'єкта та технічні характеристики 68

6.2 Організація монтажних робіт та планування процесів 70
6.3 Моніторинг виробничих умов праці та обґрунтування засобів захисту. 71
6.4 Інженерне обґрунтування технічного заходу: Захисне заземлення 73
6.5 Кількісна оцінка виробничих ризиків за методом ймовірностей 74
6.6 Заходи пожежної безпеки та ліквідації наслідків аварій 75
Висновок до розділу 6 77
ВИСНОВКИ 78
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 79

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧНЬ, ТЕРМІНІВ

ФЕЛ - факультет електроніки;

ФМФ - фізико-математичний факультет;

КПІ - Київський політехнічний інститут;

ТЕЦ - теплоелектроцентраль;

ХВП - холодне водопостачання;

LED - світлодіодні лампи;

ГВП - гаряче водопостачання;

ПДВ - податок на додану вартість;

ТМ - трансформатор масляний;

ТП - трансформаторна підстанція;

$p_{пит.}$ - питома потужність однієї квартири;

$n_{кв.}$ - кількість кімнат в будинку;

$tg\varphi$ - коефіцієнт реактивного навантаження;

$P_{вст\,i}$ - встановлена потужність одиниці відповідного обладнання;

$k_{в\,i}$ - коефіцієнт використання встановленої потужності;

$T_{роб\,i}$ - тривалість роботи відповідного обладнання за рік;

$P_{л}$ - потужніть одного світильника;

$T_{реал}$ - реальний час;

$T_{ек}$ - зекономлений час;

ISO - міжнародна організація зі стандартизації;

ДБН - державні будівельні норми;

λi - коефіцієнт теплопровідності шару;

δ - товщина шару;

h_{si} - коефіцієнт тепловіддачі;

h_{se} - коефіцієнт тепловіддачі;

R_i - опір теплопередачі i-ого огородження;

F_i - площа i-ої огороджувальної конструкції;

$t_{вн}$ - розрахункова температура внутрішнього повітря;

$t_{р.о}$ - розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування опалення;

b_u - поправочний коефіцієнт урахування зменшення розрахункової різниці температур між кондиціонованим та некондиціонованим об'ємом/зоною;

$\Delta n_{об}$ - зменшення кратності інфільтрації після заміни вікон;

V - опалювальний об’єм приміщень;

ρ - густина повітря;

C - теплоємність повітря;

ІТП - індивідуальний тепловий пункт;

АСЕМ - автоматизована система енергетичного моніторингу;

СЕС - сонячна електростанція;

Р - ймовірність ризику;

n - кількість небезпек, що проявляються з негативними наслідками ;

N - можлива кількість небезпек за конкретний період часу.

ВСТУП

Сьогодні надійне та збалансоване забезпечення будівель енергією перетворилося з суто технічного завдання на один із головних чинників стабільної роботи будь-якої установи. Специфіка великих житлових та цивільних об'єктів вимагає постійного пошуку рішень, які дозволяють знизити споживання ресурсів без погіршення комфорту для людей. Особливо гостро це відчувається в освітньому секторі, де модернізація застарілої інфраструктури вже стала життєвою необхідністю. В даний час проблема енергоефективності є як ніколи актуальною.

З фінансової точки зору держустановам стає все важче економити фінансовий ресурс. З точки зору геополітичної ситуації - через воєнний стан та нещадних атак ворога по енергетичному сектору, ми маємо обмежену кількість електричної енергії.

Гуртожиток - це місце, де одночасно проживають побутові споживачі, задля комфорту яких передбачені системи для енергопостачання. З плином часу ці системи втрачають свою актуальність і ефективність, тож якщо не впроваджувати заходи з енергоефективності й мінімум частково оновлювати їх, то це призведе до значних втрат.

Метою даної роботи є підвищення енергоефективності гуртожитку №13 шляхом аналізу енергетичних систем, задля впровадження найбільш доцільних заходів задля економії енергоресурсів.

1 ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ОБ’ЄКТУ

1.1 Короткий опис об’єкту

У цьому дослідженні об'єктом є гуртожиток №13 КПІ ім. Ігоря Сікорського, призначений для проживання студентів, які навчаються на ФЕЛ, ФМФ. Розташування споруди - вулиця Михайла Брайчевського, 6/12 (раніше відома як вулиця Металістів) [1].

Гуртожиток має 5 поверхів також підвал. В даному гуртожитку використовується коридорна система. Коридорний тип гуртожитку - це тип житлової будівлі, де кімнати розташовані вздовж довгих коридорів. У такому типі гуртожитку кімнати мають власний вихід на коридор, а спільні приміщення, такі як санвузли, кухні, знаходяться на кожному поверсі. Душові знаходяться на 1 поверсі. Відмінністю коридорного типу від блочного є те, що тут відсутня блочна система, і кожна кімната має вихід безпосередньо на коридор, а не до спільного блоку кімнат. Такий тип гуртожитку часто використовується в ситуаціях, коли необхідно розмістити більшу кількість осіб і будівля має досить просту архітектуру для забезпечення зручності руху між кімнатами та спільними зонами.

У цьому гуртожитку міститься 177 кімнат для проживання, що можуть вміщати по чотири особи у кожній, отже, за проєктом тут передбачено проживання для 708 студентів. Протягом останніх трьох років, внаслідок пандемії COVID-19 та війни, у гуртожитку зараз проживає приблизно 290 осіб. Крім того, у будівлі працює 15 навчально-допоміжних працівників.



Рисунок 1.1 - Загальний вигляд гуртожитка №13

1.2 Короткий опис інженерних мереж будівлі

Система опалення

Система опалення та теплопостачання гуртожитку №13 Національного технічного університету України "Київський Політехнічний Інститут ім. Ігоря Сікорського" (КПІ ім. Ігоря Сікорського) відіграє ключову роль у забезпеченні комфортного та безпечного проживання студентів. Опалення гуртожитку №13 здійснюється від теплової електроцентралі №5 (ТЕЦ 5), яка входить до Районної теплопостачальної організації РТМ 4. Об'єкт безпосередньо підключений до тепломережі через місцевий теплопункт. Схема підключення є залежною та двотрубною. Система має недоліки і потребує оновлення.

Система вентиляції та кондиціонування повітря

Гуртожиток №13 не обладнаний системами вентиляції та кондиціонування, що створює некомфортні умови для студентів. У приміщеннях відсутні засоби контролю та регулювання температури, чистоти та вологості повітря. Повітрообмін здійснюється виключно природним шляхом через технологічні отвори, вікна та двері. Бракує фільтрів, теплообмінників, зволожувачів і осушувачів повітря, засобів для переміщення та розподілу повітря, а також засобів теплопостачання та холодопостачання. У майбутньому ці системи можна оснастити автоматикою та дистанційним керуванням, що сприятиме підвищенню енергоефективності.

Система гарячого і холодного водопостачання

Водопостачання (ХВП) ведеться за особовим рахунком 833-38,ХВ. Визначник для ArcGis позначається як г13ХВЛ1. Тип обліку води є комерційним, а лічильник води встановлено у підвалі. Водолічильник марки MWN50NKOP, номер 16365730, з діаметром умовного проходу (d_y) 50 мм, має міжповірочний інтервал у 4 роки.

Система освітлення

Система освітлення гуртожитку №13 Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут" імені Ігоря Сікорського є тільки внутрішньою. Вона не включає в себе жодного зовнішнього освітлення та функціонує завдяки LED-світильникам потужністю 18 Вт. Точна модель світильників не відома.

1.3 Аналіз динаміки споживання ПЕР за останні три роки

Нижче подано дані щорічного використання ресурсів у гуртожитку №13. Загалом, будівля споживає воду, теплову енергію для опалення та електричну енергію.

Таблиця 1.1 - Споживання електричної енергії протягом 2023-2025 років

Місяць		Споживання ел.ен, кВт·год	Вартість споживання ел.ен, тис.грн	Споживання ел.ен, кВт·год	Вартість споживання ел.ен, тис.грн	Споживання ел.ен, кВт·год	Вартість споживання ел.ен, тис.грн
		2023		2024		2025	
1	Січень	19830	33314,4	17940	30139,2	23373	39266,64
2	Лютий	18627	31293,36	19500	32760	21450	36036
3	Березень	13942	23422,56	14880	24998,4	12399	20830,32
4	Квітень	12080	20294,4	15120	25401,6	12399	20830,32
5	Травень	13582	22817,76	14100	23688	12399	20830,32
6	Червень	12863	21609,84	12081	20296,08	12399	20830,32
7	Липень	11539	30462,96	13054	21930,72	10523	17678,64
8	Серпень	11120	29356,8	11779	19788,72	10999	18478,32
9	Вересень	12675	33462	15202	25539,36	12320	20697,6
10	Жовтень	15000	39600	22593	37956,24	14723	24734,64
11	Листопад	15780	41659,2	20369	34219,92	16885	28366,8
12	Грудень	31795,7	36012,24	18086	30384,48	13641	18926
Разом:		188834	363305,52	194704	327102,7	173510	287505,92

Графік річного споживання електроенергії у 2021-2023 роках за місяцями представлено на рисунку 1.2.

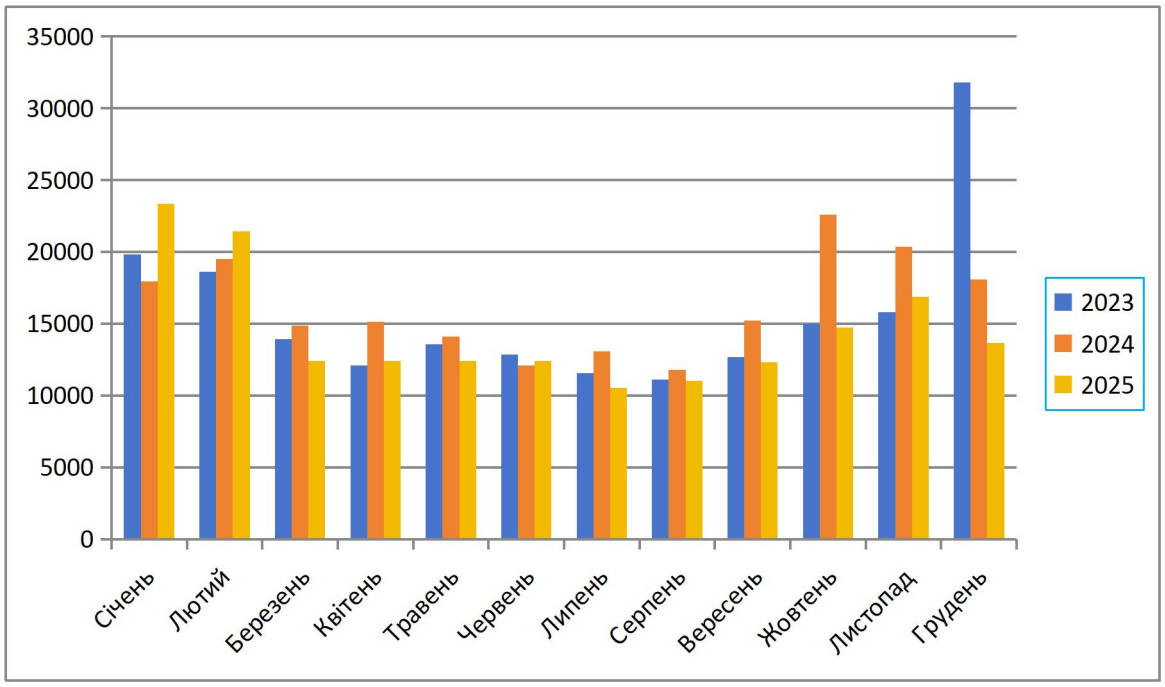


Рисунок 1.2 - Споживання електроенергії кВт·год за 2023 - 2025 роки

Періоди, що досліджуються у цій роботі, можна вважати нетиповими, оскільки освітній процес у ці роки відбувався дистанційно з різних причин, що призвело до малого числа мешканців у гуртожитку. Незважаючи на це, основні показники споживання для гуртожитків залишилися незмінними, оскільки протягом всіх трьох років споживання значно зменшується влітку через те, що мешканці відвідують літні канікули частіше за все. Найбільше споживання спостерігається у грудні 2023. Одна з передбачуваних причин - це запровадження змішаного навчання, а також у зимовий період студенти можуть вмикати додаткові прилади для опалення. Найменше річне споживання електроенергії відбулося в 2025 році в зв'язку з російськими обстрілами об'єктів енергосистеми в осінні та зимові місяці, через що вводилися довгі графіки відключення електроенергії.

Річне споживання теплової енергії та вартість в 2023 - 2025 роках за місяцями представлено у таблиці 1.2

Таблиця 1.2 - Річне споживання теплової енергії в 2023-2025 років

Місяць		Споживання тепл.ен, Гкал	Вартість споживання тепл.ен, тис.грн	Споживання тепл.ен, Гкал	Вартість споживання тепл.ен, тис.грн	Споживання тепл.ен, Гкал	Вартість споживання тепл.ен, тис.грн
		2023		2024		2025	
1	Січень	72,856	121015,4	77,104	112966,68	96,609	159219,19
2	Лютий	81,805	135876,11	96,875	156600,63	100,961	166300
3	Березень	71,674	119054,16	81,438	131646,36	50,482	83297,723
4	Квітень	63,054	104745,68	60,736	98181,099	4,173	6333,5998
5	Травень	15,785	26244,416	15,134	24464,594	11,957	20493,236
6	Червень	8,65	14382,885	2,623	4240,149	8,461	13960,663
7	Липень	15,97	26555,783	9,478	15321,479	0	0
8	Серпень	16,0894	109893,04	11,941	19303,024	8,196	13284,375
9	Вересень	46,1119	76677,259	21,674	35036,704	63,294	104064,54
10	Жовтень	67,6651	113175,43	38,442	62142,743	14,791	24261,778
11	Листопад	23,188	38759,531	71,513	146384,97	35,002	58140,958
12	Грудень	74,8519	124892,64	75,602	96162,497	78,769	130833,39
Разом:		607,7	1011272,34	562,56	902450,93	472,695	780189,45

Споживання теплової енергії за 2023-2025 роки зображено на рис. 1.3.

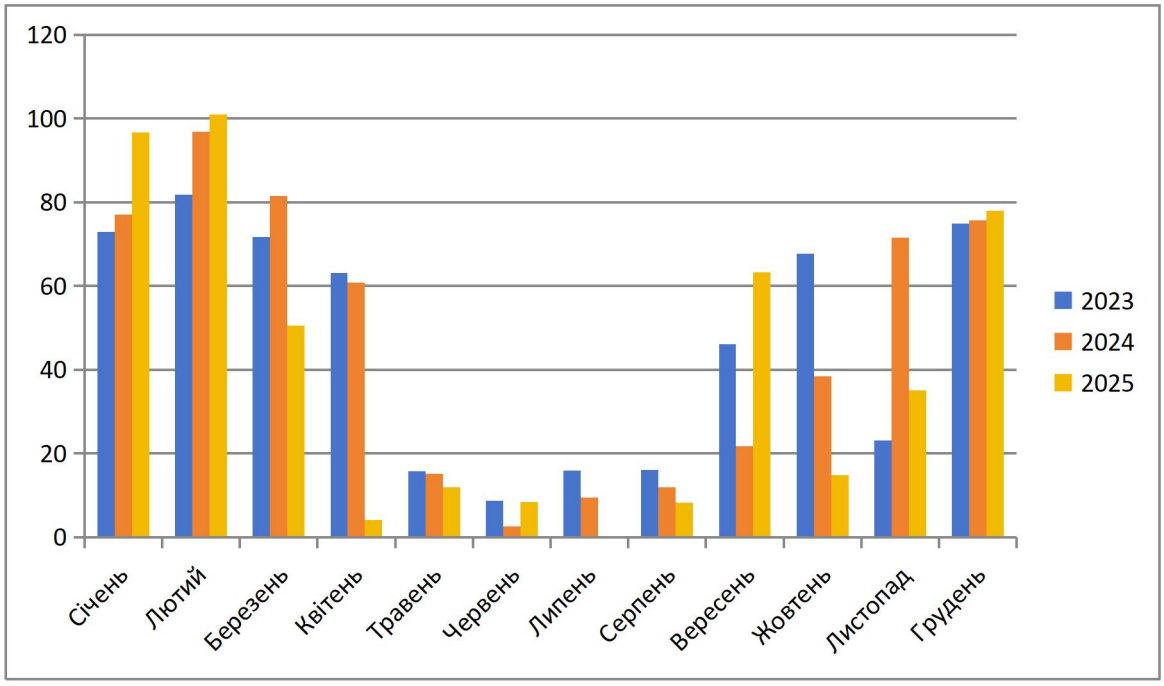


Рисунок 1.3 - Споживання теплової енергії кВт·год за 2023 - 2025 роки

Даний графік - це зведене споживання як теплової енергії на опалювання, так і на гаряче водопостачання, тому теплова енергія на даному графіку у літній період - це та енергія, що відводиться на ГВП. В усі місяці крім липня 2022 спостерігається хоча б мале споживання, можливою причиною такої ситуації може бути закриття гуртожитку .

Річне споживання води та вартість в 2023-2025 роках за місяцями представлено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Річне споживання води в 2023 - 2025 роках

Місяць		Спожи-вання води,м^3	Вартість споживан-ня води, тис.грн	Спожи-вання води,м^3	Вартість споживан-ня води, тис.грн	Спожи-вання води,м^3	Вартість споживання води, тис.грн
		2023		2024		2025	
1	Січень	2821	85713,26	2838	65675,11	5345	142536,25
2	Лютий	1749	53141,62	1588	41898,06	3859	117251,86
3	Березень	2238	67999,39	1674	42511,5	1922	58398,048
4	Квітень	2599	78968,02	3249	82459,62	4734	143868,24
5	Травень	3157	95922,29	658	42080,04	2724	82766,016
6	Червень	2277	69184,37	2906	73754,28	2340	71098,56
7	Липень	2536	77053,82	3079	78145,02	1552	47186,352

Продовження таблиці 1.3

8	Серпень	2005	60919,92	1731	43932,78	1388	42142,608
9	Вересень	1956	59431,1	4053	102865,1	1916	58215,744
10	Жовтень	2335	70946,64	4737	120225,1	1626	49374
11	Листопад	3153	95800,75	4644	117864,7	2161	65659,824
12	Грудень	2953	89723,95	1931	49008,78	2297	69792,048
Разом:		29779	904805,14	33088	833420,11	31864,0	948289,55

Споживання води за 2023-2025 роки зображено на рис. 1.4.

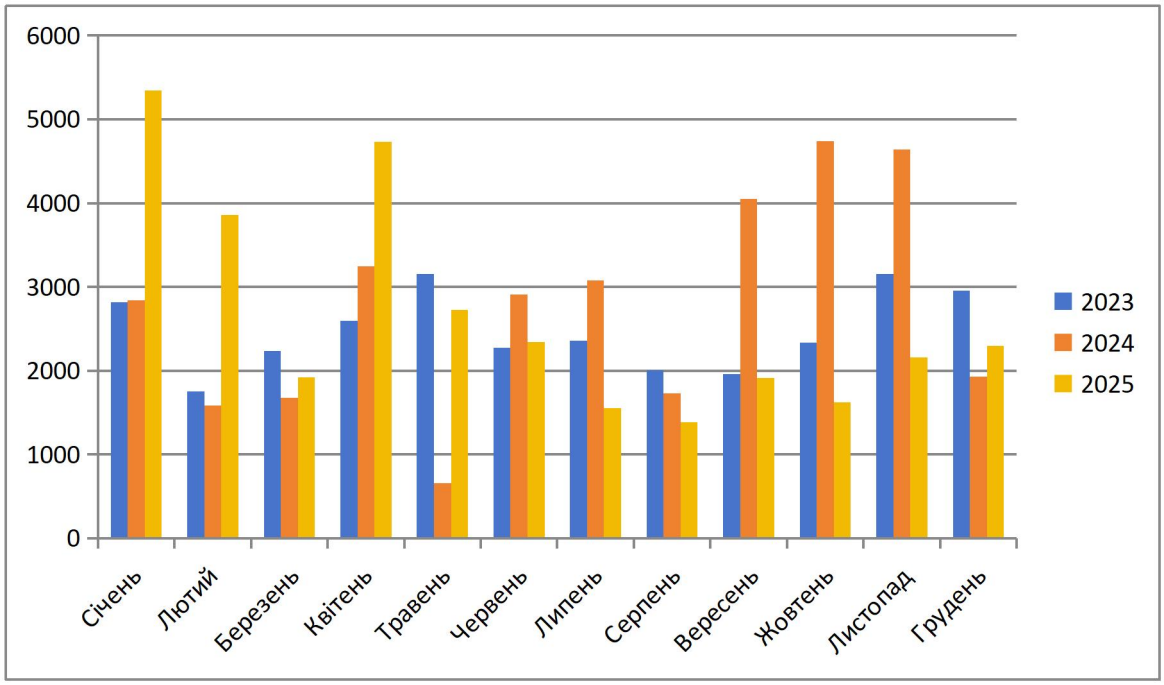


Рисунок 1.4 - Споживання води, м^3 за 2023 - 2025 роки

Споживання води у гуртожитку протягом років змінюється. В 2025 році в осінні та зимові місяці проживало найменша кількість людей, можливо через постійні відключення електроенергії і, внаслідок цього, - відсутність води, багато мешканців поїхали додомуі перейшли на дистанційне навчання.

1.4 Оцінка тарифної політики щодо покупних ПЕР

Тариф на електроенергію

Постановою Кабінету Міністрів України від 30.05.2023р. № 544 встановлена фіксована ціна на електроенергію для населення з 1 червня 2023 року, яка є єдиною для всіх споживачів незалежно від обсягів споживання. Фіксована ціна на електроенергію для побутових споживачів з 1.06.2023 року по 31.05.2024 року становить 2,64 грн/кВт·год. **З** 1 червня 2024 року по 2025 рік включно: тариф зріс до 4,32 грн/кВт·год (згідно з постановою № 632 від 31.05.2024). Цей тариф залишився без змін на весь період і діє зараз

Тариф на тепло

На офіційному веб-сайті Міністерства фінансів було оприлюднено інформацію за якою були створені таблиці, де були наведені відомості про тарифи на тепло, що діяли у місті Києві.

Таблиця 1.4 - Тарифи на постачання гарячої води в Києві з 2023-2025

Термін	Тариф (грн. за 1 м³, з ПДВ)
з 1.10.2022 по теперішній час	
- звичайний тариф для населення	128,86
- тариф протягом дії військового стану в Україні та 6 місяців після нього	97,89

Таблиця 1.5 - Тарифи на централізоване опалення в Києві з 2021-2023

Термін	Тариф (грн. за 1 м³, з ПДВ)
з 1.10.2022 по теперішній час	
- звичайний тариф для населення	2440,28
- тариф протягом дії військового стану в Україні та 6 місяців після нього	1654,41

Тариф на воду

На офіційному веб-сайті Міністерства фінансів було оприлюднено інформацію, за якою були створені таблиці, де були наведені відомості про тарифи на воду, що діяли у місті Києві.

Таблиця 1.6 - Тарифи на водопостачання та водовідведення в Києві на 2023-2025 роки

Термін	Тариф (грн. за 1 м³, з ПДВ)
з 1.10.2022 по теперішній час	
Централізоване водопостачання	36,852
Централізоване водовідведення	26,94
Разом	63,792

1.5 Коротка характеристика попередньої діяльності об'єкту у сфері енергоефективності

Раніше проводився такий захід для підвищення енергоефективності цієї будівлі, як часткова заміна дерев'яних вікон на пластикові. Є припущення, що фінансування проводилося з боку самих студентів, що проживали в кімнатах, для забезпечення комфортніших умов проживання. Також, з часом більшість ламп було замінено на LED, так як при побудові гуртожитку таких менш енергозатратних ламп ще не існувало.

Висновки до розділу 1

Проведена аналітика у даному розділі щодо споживання води, теплової та електричної енергії щодо гуртожитку №13 КПІ ім. Ігоря Сікорського за період 2023-2025 роки та аналіз цінової політики щодо вартості енергетичних ресурсів. В наслідок чого зроблено висновок, що впровадження заходів з енергоефективності значно зможе зекономити фінансовий ресурс.

У гуртожитку вже були проведені деякі заходи у сфері енергоефективності. Наразі слід провести подальший аналіз електричних та теплових систем для виявлення особливо неефективних частин, задля подальшого впровадження енергоефективних заходів саме у цих ділянках.

Загалом, робота над енергоефективністю у гуртожитку №13 проводилась і повина проводитись й надалі. Потрібно продовжувати постійний моніторинг споживання енергетичних ресурсів та покращувати наявні системи для їх актуалізації.

2 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ОБ’ЄКТІ

2.1 Схема електропостачання об’єкта та її аналіз

Енергетична система гуртожитку №13 КПІ ім. Ігоря Сікорського є базовим елементом інфраструктури, що забезпечує стабільну життєдіяльність споруди та комфортні умови для проживання студентів. Цей об'єкт представляє собою багатоповерховий житловий будинок (висотою до 16 поверхів), через що за рівнем надійності електрозабезпечення він класифікується як споживач третьої категорії.

Внутрішня архітектура електричних мереж будівлі охоплює головний ввод, систему внутрішнього розподілу, а також кінцеве електрообладнання, встановлене у житлових та допоміжних приміщеннях. Головний ввод відповідає за комутацію об'єкта із централізованою енергосистемою міста, тоді як розподільчі мережі здійснюють безпосереднє транспортування енергії до кімнат і блоків. Від цієї мережі живляться всі наявні споживачі: системи внутрішнього освітлення, штепсельні розетки, а також різноманітні побутові та робочі прилади. Задля мінімізації наслідків можливих аварій чи затяжних перебоїв у центральній мережі, схема може доукомплектовуватися захисними запобіжниками та автономними джерелами живлення, наприклад, дизель-генераторними установками.

Усі компоненти мережі проходять регулярний технічний огляд і поточний сервіс, що гарантує їхню повну відповідність чинним нормативно-технічним регламентам з електробезпеки.

Централізоване живлення споруди здійснюється від трансформаторної підстанції ТП №3245, на якій змонтовано силовий трансформатор типу ТМ-630/10/0,4. Окрім досліджуваного гуртожитку, ця підстанція закриває потреби й інших суміжних об'єктів. ТП перебуває на балансі та обслуговуванні оператора систем розподілу ПрАТ «ДТЕК Київські електромережі» (ДТЕК КЕМ), будучи частиною загальноміської енергетичної інфраструктури. На рисунку 2.1 показано загальний вигляд.



Рисунок 2.1– Трансформаторна підстанція №3245

Паспортні дані трансформаторної підстанції ТП-3245:

S_H=400 кВА,

U_{H1}=10 кВ,

U_{H2}=0,4 кВ,

$$P_{X.X.}=0{,}83 \text{ кВт},$$

$$P_{K.З.}=5{,}5 \text{ кВт},$$

$$I_{X.X.}=1{,}5\%,$$

$$U_{K.З.}=4{,}5\%.$$

Основними внутрішніми споживачами є освітлювальні прилади, локальні насосні вузли та різноманітна побутова техніка. Принципові зв'язки та структура мережі відображені на однолінійній електричній схемі гуртожитку (рис. 2.2).

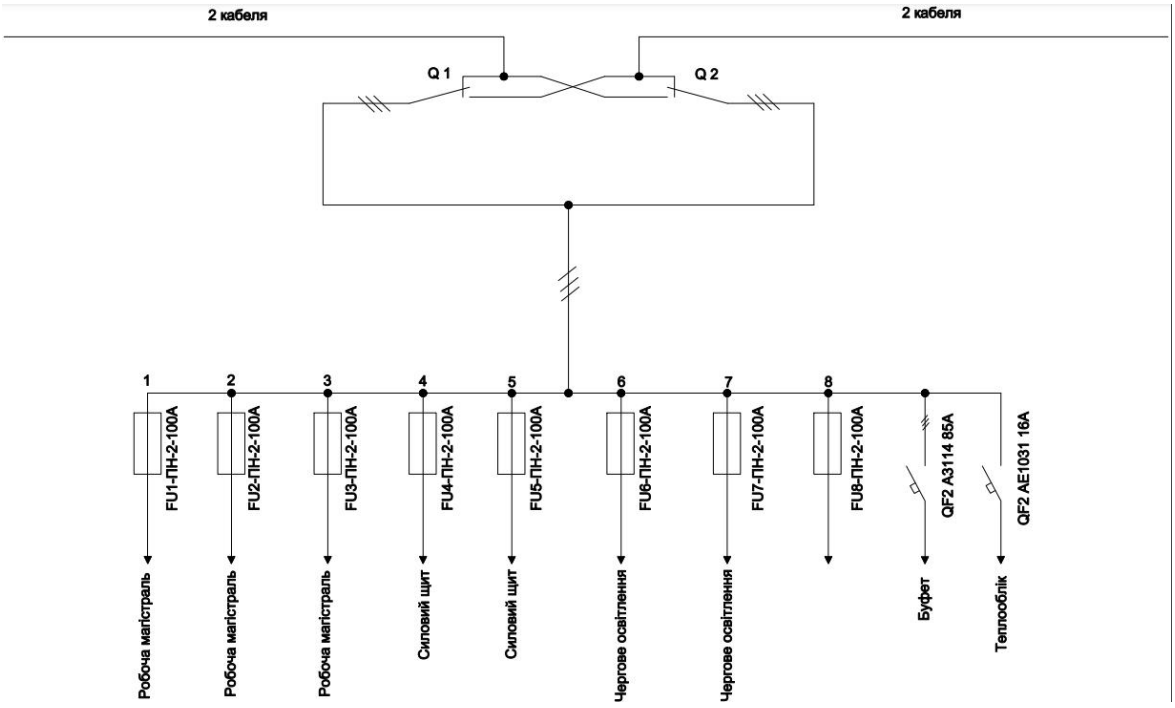


Рисунок 2.2- Однолінійна електрична схема гуртожитку № 13

2.2 Коротка характеристика та оцінка енергоефективності споживачів електричної енергії

Кінцевими користувачами ресурсів у гуртожитку №13 є студенти, аспіранти, викладачі та обслуговуючий персонал навчального закладу, які безпосередньо мешкають у будівлі. Енергія витрачається на забезпечення щоденних потреб: освітлення кімнат, роботу особистої та загальної побутової

техніки (холодильних установок, мікрохвильових печей, електрочайників тощо), функціонування комп'ютерів, а також підзарядку мобільних гаджетів. оскільки будівля експлуатується як житловий об'єкт, добові обсяги та інтенсивність споживання суттєво коливаються залежно від розкладу занять мешканців, пори року та індивідуального графіка кожного студента. Для підтримання належного рівня комфорту та стабільної роботи внутрішніх інженерних мереж живлення подається безперервно, що вимагає системного підходу до моніторингу та раціонального планування режимів навантаження протягом доби.

Таблиця 2.1 – Загальна встановлена потужність електрообладнання

Групи обладнання	Назва	*Рн, Вт*	*N, од*	Загальна встановлена потужність обладнання, кВт
Побутова техніка	Плита електрична	5500	20	110000
	Мікрохвильова піч	1300	44	57200
	Холодильник побутовий	475	73	34675
	Чайник	2000	73	146000
Офісна техніка	Комп’ютери	70	267	18690
Насосні установки	Насос циркуляційний	1500	2	3000
Всього:				369565

2.3 Повірочний розрахунок навантажень будівлі

Для визначення реальних режимів роботи мережі проведемо розрахунок очікуваного електричного навантаження об'єкта. Як методичний приклад нижче продемонстровано обчислення для циркуляційних насосів та інших споживачів.

Для приладів із суто активним навантаженням (наприклад, електрочайників) коефіцієнт потужності становить $cos\varphi = 0{,}7$. На основі цього визначимо коефіцієнт реактивної потужності за класичним співвідношенням:

$$tg\varphi = \frac{\sqrt{1-cos^2\varphi}}{cos\varphi}, \quad (2.1)$$

Відповідно до формули (2.1) маємо:

$$tg\varphi = \frac{\sqrt{1-0,7^2}}{0,7} = 1,02.$$

Сумарна потужність ЕП одного виду розраховується за формулою:

$$P_{\Sigma i} = P_{нi}n, \quad (2.2)$$

де $P_{нi}$ – потужність одного споживача, кВт;

n – кількість електроприладів.

Тоді за формулою (2.2) маємо

$$\text{РΣі} = 2 \cdot 73 = 146 \text{ кВт}.$$

Розрахункова активна потужність визначається за формулою:

$$P_{рi}=P_{\Sigma i}K_{вi}, \quad (2.3)$$

де $K_{вi}$ - коефіцієнт використання, для холодильника $K_{вi}$=0,4.

Відповідно до формули (2.3):

$$\text{Рр} = 146 \cdot 0,4 = 58,4 \text{ кВт}.$$

Розраховуємо розрахункову реактивну потужність за формулою:

$$Q_{рi}=P_{рi}tg\varphi, \quad (2.4)$$

Тоді за формулою (2.4) маємо:

$$\text{Qр} = 58,4 \cdot 1,02 = 59,57 \text{ квар}.$$

Аналогічно за формулами (2.1 - 2.4) проводимо розрахунки для інших ЕП і занесемо результати розрахунків у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Розрахункові активні та реактивні потужності електрообладнання

Вихідні дані							**Проміжні потужності**	
За умовою				**Довідникові**				
Найменування ЕП	***n*, од**	**Потужність, кВт**		$K_в$	**cosφ**	**tgφ**	$P_р$, ***кВт***	$Q_р$, ***квар***
		$P_{нi}$	$P_{нΣ}$					

Плита електрична	20	5,5	110	0,4	0,9	0,48	44	21,12
Мікрохвильова піч	44	1,3	57,2	0,5	0,8	0,75	28,6	21,45
Холодильник побутовий	73	0,475	34,675	0,8	0,75	0,88	27,74	24,41
Чайник	73	2	146	0,4	0,7	1,02	58,4	59,57
Комп'ютери	267	0,07	18,69	0,6	0,85	0,62	11,214	6,95
Насос циркуляційний	2	1,5	3	0,75	0,7	1,02	2,25	2,30
Разом:			**369,565**				**172,204**	**135,797**

2.4 Повірочний розрахунок системи внутрішнього електричного приміщення

Спираючись на чинні нормативні документи [2], визначимо мінімальні вимоги до штучного освітлення робочих місць. У нашому випадку цільовим типом приміщення є стандартна житлова кімната студента в гуртожитку. Для таких умов встановлено розряд зорової роботи В-1. Відповідно, нормований рівень освітленості на рівні робочих поверхонь має становити щонайменше $E_{min} = 150$ лк.

Параметри кімнат у будівлі є наступними: ширина - 5,9 м, довжина - 2,8 м, загальна висота - 3 м. Проєктні коефіцієнти відбиття поверхонь становлять:

для стелі $\rho_{сл} = 70$, для підлоги $\rho_{сл} = 10$. Характеристика освітлювального приладу: номінальний світловий потік лампи складає 1600 лм, у кожній кімнаті монтується по 1 світильнику.

Розраховуємо індекс приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h_{п} \cdot (a+b)}, \qquad (2.5)$$

де a – довжина приміщення, м;

b – ширина приміщення, м;

$h_{п}$ – висота підвісу світильника, м.

Підставивши значення в формулу (2.5) отримуємо:

$$i = \frac{5,9 \cdot 2,8}{3 \cdot (5,9+2,8)} = 0,63.$$

З додатку А знайдемо коефіцієнт використання світлового потоку:

$\theta = 0{,}31$.

Величину Z приймають 1,1, під час розташування люмінесцентних та LED-світильників.

Отже світловий потік при даних параметрах розраховується за формулою:

$$F = \frac{E_{min} \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{N \cdot n \cdot \theta}, \qquad (2.6)$$

де K_z – коефіцієнт запасу, значення якого знаходиться в межах 1,3…1,7;

S – площа приміщення, що освітлюється, м^2 ;

N – кількість світильників, шт.;

n– кількість ламп в кожному світильнику, шт.

Підставивши усі значення в формулу (2.6) маємо:

$$F = \frac{150 \cdot 1{,}52 \cdot 1{,}5 \cdot 1{,}1}{1 \cdot 1 \cdot 0{,}31} = 1213{,}5 \ лм.$$

В нашому випадку світловий потік лампи 1600 лм, тому це означає, що норми виконуються.

2.5 Розрахунок основних складових для складання балансу споживання електричної енергії об'єкту у аналітичній формі

Реактивне навантаження розраховується за формулою:

$$W_i = P_{\text{вст}i} n k_{\text{в}i} T_{\text{роб}i} \qquad (2.7)$$

де $P_{\text{вст}i}$ - встановлена потужність одиниці відповідного обладнання, кВт, яка береться із паспортних даних обладнання;

n - кількість одиниць обладнання, шт;

$k_{\text{в}i}$ - коефіцієнт використання встановленої потужності;

$T_{\text{роб}i}$ - тривалість роботи відповідного обладнання за рік.

Визначимо загальне електроспоживання для електричних плит:

$$\text{Wx} = 5{,}5 \cdot 20 \cdot 0{,}4 \cdot 494 = 21736 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Використовуючи формулу (2.7), розраховуємо споживання електричної енергії всіх електроспоживачів за рік. Результат наведено в таблиці 2.3:

Таблиця 2.3 - Електричний баланс гуртожитку

Групи обладнання	Назва	$P_н$, Вт	N, од	$К_в$	Час роботи, год	Річне споживання, кВтгод
Побутова техніка	Плита електрична	5500	20	0,4	494	21736
	Мікрохвильова піч	1300	44	0,5	380	10868
	Холодильник побутовий	475	73	0,8	5928	164443
	Чайник	2000	73	0,4	182	10628,8
Офісна техніка	Комп’ютери	70	267	0,6	1729	19389
Насосні установки	Насос циркуляційний	1500	2	0,75	2717	6113,25
Освітлення	LED панелі	12	197	1	2920	6902,88
	Люмінесцентна лампа	40	135	1	2920	15768
Всього:						249759

За даними таблицями був побудований елктричний баланс гуртожитку. Зобразимо її на круговій діаграмі рис. 2.2.

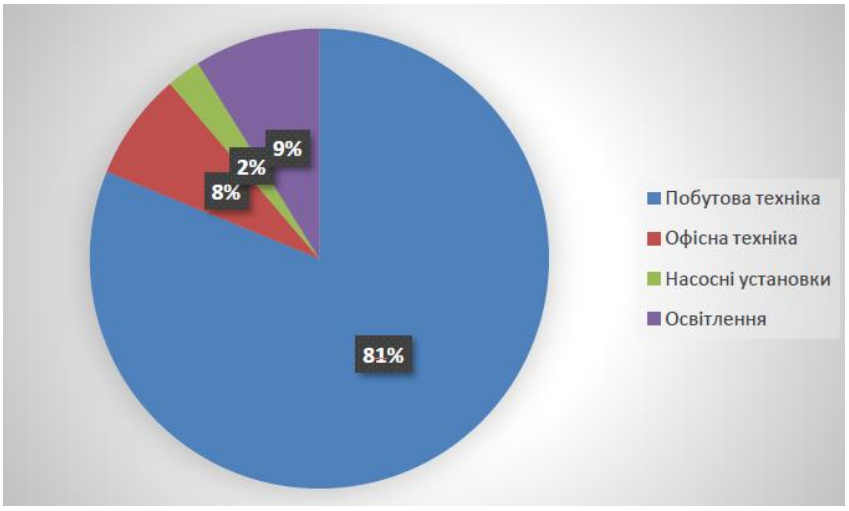


Рисунок 2.2– Витратна частина балансу споживання електричної енергії електрообладнанням різного типу

За діаграмою видно, що найбільше електричної енергії споживається ЕП групи побутові споживачі.

2.6 Оцінка стану та ефективності систем обліку та моніторингу споживання електричної енергії на об’єкті

Можливість оперативного та гнучкого управління витратами паливно-енергетичних ресурсів безпосередньо залежить від технічного стану систем комерційного та технічного обліку. Вони повинні не просто фіксувати поточні показники, а й надавати аналітичну базу для розробки енергоефективних рішень. Якісний аудит цих систем є обов'язковою умовою для оптимізації витрат установи.

Наразі будівля оснащена сучасним багатофункціональним приладом обліку типу НІК2303АРК1 1120. Цей лічильник дозволяє з високою точністю контролювати параметри активної та реактивної потужностей, вимірювати діючі значення струмів та напруг у фазах, відстежувати коефіцієнт потужності, а також сигналізувати про вихід напруги за допустимі межі.

Однак детальний аналіз виявив організаційний недолік: попри те, що встановлений прилад конструктивно підтримує багатотарифний облік, розрахунки за спожиту енергію в гуртожитку досі ведуться за звичайним однозонним тарифом. Перехід на диференційований (двозонний) тариф дозволив би суттєво зменшити фінансове навантаження на бюджет закладу завдяки перенесенню роботи частини обладнання на нічний час. Тому рекомендується невідкладно ініціювати зміну тарифного плану та виконати відповідне програмне налаштування лічильника. Окрім цього, для побудови дієвого моніторингу важливо систематично аналізувати графіки навантажень, фіксувати години пікового споживання та впроваджувати організаційні заходи для їхнього згладжування. Впровадження лічильників серії НІК2303АРК1 забезпечує надійний базис для енергоменеджменту, проте без

повноцінного використання їхнього функціоналу неможливо досягти максимального зниження витрат.

2.7 Розроблення типових заходів з енергоефективності для суттєвих споживачів електричної енергії

Одним із масових споживачів енергії, що має великий потенціал для оптимізації, є внутрішнє освітлення будівлі. Саме тому модернізація цієї системи розглядається як першочерговий крок. Оскільки гуртожиток є об'єктом спільного проживання із великою кількістю місць загального користування, особливу увагу варто приділити довгим коридорам. Наразі світло там часто працює неефективно та горить вхолосту через людський фактор. Раціональним технічним рішенням у цьому випадку є переведення коридорного освітлення на автоматичний режим за допомогою датчиків руху. Модернізація ліній із впровадженням датчиків руху

Сучасний датчик руху - це автоматичний сигналізатор, який реагує на появу людей у зоні контролю шляхом реєстрації та аналізу їхнього теплового (інфрачервоного) випромінювання. Отриманий сигнал використовується для замикання або розмикання силового ланцюга живлення ламп, що дозволяє гнучко керувати освітленням без участі людини. У нашому випадку датчики вимикатимуть світильники в коридорах одразу після того, як звідти йтимуть люди. Об'єкт дослідження має 5 поверхів із типовим плануванням коридорів, кожен з яких зараз освітлюється 12 LED-лампами потужністю 18 Вт. Таким чином, проектні розрахунки охоплюють модернізацію точок освітлення у кількості: 12*5=60 шт.

З огляду на ринкові пропозиції, оптимальним за співвідношенням ціни та надійності є вибір настінних датчиків руху моделі ЕВРОСВЕТ SW-02.Вигляд датчика [3] покажемо на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Датчик Евросвет

Розрахуємо сумарні капітальні інвестиції (К) на впровадження заходу, враховуючи, що середня вартість монтажних і пусконалагоджувальних робіт становить 180 грн за точку, а резерв на непередбачувані витрати - близько 100 грн на одиницю об'єкта при базовій ціні датчика 220 грн:

$$К = (220 + 100 + 180) \cdot 15 = 7\,500 \text{ грн.}$$

Розрахунок річної економії енергії за формулою:

$$\Delta W = nP_{л}(T_{реал} - T_{кор})n_{д}, \quad (2.8)$$

де n – кількість світильників;

$P_{л}$ – потужніть одного світильника;

$T_{реал}$, $T_{кор}$ – реальний та корисний час використання світильників, $T_{реал}$ = 9 год, $T_{кор}$ = 4 год.;

$n_{д}$ – кількість робочих днів, $n_{д}$ = 365 днів для типового року.

$$\Delta W = 60 \cdot 0{,}018 \cdot (9 - 4) \cdot 365 = 1971 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік.}$$

Економія коштів в грошовому еквіваленті при вартості 1 кВт·год = 4,32 грн. складе:

$$\Delta E = \Delta WT, \quad (2.9)$$

де T – тариф на електричну енергію.

$$\Delta E = 1971 \cdot 4{,}32 = 8514{,}72 \text{ грн.}$$

Простий термін окупності:

$$T_{ок} = \frac{7500}{8514{,}72} = 0{,}9 \text{ року.}$$

Організація інформаційно-просвітницьких курсів для мешканців

Серед існуючих методів впливу на поведінку споживачів (адміністративні штрафи, фінансові бонуси, навчання) для умов студентського гуртожитку найдоцільніше обирати саме просвітницьку роботу. Оскільки мешканці не пов'язані суворими корпоративними зобов'язаннями, жорсткі обмеження чи догани можуть викликати лише зворотну негативну реакцію.

Сьогодні українське суспільство живе в умовах воєнного стану, постійно стикаючись із наслідками руйнівних ударів по об'єктах критичної енергетичної інфраструктури. Обмеження енергопостачання стали частиною повсякденного побуту, що змушує кожного громадянина замислюватися про важливість ощадливого споживання. Завдяки загальній згуртованості населення навколо цієї проблеми, проведення відкритих інформаційних бесід та лекцій здатне дати швидкий практичний результат. Величезною перевагою такого заходу є відсутність потреби у фінансуванні, адже роль спікерів можуть взяти на себе ініціативні студенти старших курсів профільних спеціальностей або штатні працівники закладу. Оскільки під час навчання студенти найактивніше експлуатують комп'ютерну техніку, розрахунок потенційного заощадження проведемо саме для цієї категорії споживачів. За попередніми оцінками, близько 60% мешканців гуртожитку №13 готові підтримати цю екологічну ініціативу. Завдяки підвищенню культури користування приладами (вимикання з мережі, переведення в режим глибокого сну замість тривалої роботи вхолосту), час невиправданого споживання комп'ютерів зменшиться в середньому на 20%.

Розрахунок річної економії енергії проведемо за формулою:

$$\Delta W = n \cdot 60\% \cdot (P_н T_{ек}) \cdot n_д \,, \qquad (2.10)$$

$$T_{ек} = 20\% \cdot T_{реал},$$

де n – кількість ноутбуків;

$P_н$ – потужніть одного ноутбука;

$T_{реал}$, $T_{ек}$, – реальний час використання ноутбуків та зекономлений час відповідно, $T_{реал}$ = 10 год, $T_{ек}$ = 2 год.

$$\Delta W = 267 \cdot 60\% \cdot (0{,}07 \cdot 2) \cdot 365 = 8186{,}22 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}.$$

Економія коштів в грошовому еквіваленті при вартості 1 кВт·год = 4,32 грн. складе:

$$\Delta E = \Delta WT. \quad (2.11)$$

Знайдемо економію:

$$\Delta E = 8186{,}22 \cdot 4{,}32 = 35364{,}47 \text{ грн.}$$

Висновки до розділу 2

У другому розділі роботи було проведено комплексний інженерний аналіз поточної схеми та параметрів системи електропостачання житлового об'єкта. Складено детальний опис основних груп споживачів, а також розраховано річний баланс розподілу електричної енергії.

Для модернізації інфраструктури та оптимізації витрат було обґрунтовано доцільність впровадження таких енергоефективних заходів:

1. Переведення ліній штучного освітлення місць загального користування на автоматичне керування за допомогою настінних датчиків руху.

2. Проведення інформаційно-просвітницької роботи серед мешканців для формування навичок ощадливого та раціонального використання побутової та комп'ютерної техніки.

3 ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ ТА ЗАХОДІВ З ЙОГО ПІДВИЩЕННЯ

3.1 Огляд нормативних вимог щодо енергетичної ефективності в будівлях

Директива EU/2024/1275 про енергетичні характеристики будівель (EPBD): Цей документ встановлює вимоги до енергетичних характеристик нових будівель і значної реконструкції існуючих будівель. Директива передбачає обов'язкове впровадження сертифікації енергетичної ефективності.

Директива 2012/27/ЄС про енергоефективність: Директива зобов'язує держави-члени розробляти національні плани дій з енергоефективності, включаючи заходи для підвищення енергетичної ефективності в будівлях. "

ISO 50001: Цей стандарт встановлює вимоги до систем управління енергією, що дозволяє організаціям підвищити енергетичну ефективність, знизити витрати та зменшити викиди парникових газів [4].

ISO 52000-1:2017: Цей стандарт визначає загальні принципи і вимоги для енергетичної ефективності будівель, включаючи методи розрахунку енергетичної ефективності. "

Державні будівельні норми (ДБН) України: В Україні діє кілька нормативних документів, які регулюють енергетичну ефективність будівель. Зокрема, ДБН В.2.6-31:2021 "Теплова ізоляція будівель та енергоефективність будівель " встановлює вимоги до теплозахисту будівель та обов'язковий рівень енергетичної ефективності [5].

Закон України "Про енергетичну ефективність будівель": Закон передбачає створення системи енергетичної сертифікації будівель, визначення мінімальних вимог до енергетичної ефективності [6].

3.2 Визначення теплового навантаження будівлі

Об'єкт дослідження - житлова багатоповерхова будівля. Проведемо розрахунок теплового навантаження для неї.

Конструкція зовнішньої стіни

- штукатурка δ = 0,007 м, λ = 0,87 Вт/м·К [7];

- плити керамічні δ = 0,005 м, λ = 1,1 Вт/м·К [7];

- кладка цегляна з повнотілої цегли керамічної звичайної на цементно-перлітовому розчині δ = 0,51 м, λ = 0,7 Вт/м·К [7].

Термічний опір зовнішніх стін визначається за формулою:

$$R_c = \frac{1}{h_{si}} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{se}}, \quad (3.1)$$

де λ_i - коефіцієнт теплопровідності шару;

δ - товщина шару;

h_{si} - коефіцієнт тепловіддачі, 8,7 м²·К/Вт , [7];

h_{se} - коефіцієнт тепловіддачі, 23 м²·К/Вт , [7].

$$R_c = \frac{1}{8,7} + \frac{0,007}{0,87} + \frac{0,005}{1,1} + \frac{0,51}{0,7} + \frac{1}{23} = 0,89 \ \frac{м^2 \cdot К}{Вт}.$$

Коефіцієнт теплопередачі стіни визначається за формулою:

$$k_c = \frac{1}{R_c}. \quad (3.2)$$

Підставимо значення в формулу (3.2):

$$k_c = \frac{1}{0,89} = 1,12 \ \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі зовнішніх стін

$R_{q\ min}$ = 4 м²К/Вт [5],

RΣ = 0,89 м²К/Вт < $R_{q\ min}$ = 4 м²К/Вт.

Теплозахисна ефективність огороджень в поганому стані і вимагає використання енергоефективних засобів для підвищення їх теплоізоляції.

Світлопрозорі конструкції

В сучасних металопластикових конструкціях термічний опір становить в межах 0,5-0,55 м²·К/Вт. Отже, приймемо Rм = 0,5 м²·К/Вт.

Коефіцієнт теплопередачі металопластикового вікна визначаємо за формулою (3.2):

$$k_м = \frac{1}{0,5} = 2\ \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі зовнішніх стін

$$R_{q\ min} = 0,9\ м^2К/Вт\ [5],$$

$$R\Sigma = 0,5\ м^2К/Вт < R_{q\ min} = 0,9\ м^2К/Вт.$$

Теплозахисні характеристики світлопрозорих конструкцій у поганому стані і потребують заміни.

Суміщене перекриття

- Залізобетон δ=0,4 м, λ=2,04 Вт/м·К [7];
- Гравій керамзитовий густиною 600 кг/м3 δ=0,1 м, λ=0,2 Вт/м·К [7];
- Розчин цементно-кремнезитовий δ=0,03 м, λ=0,09 Вт/м·К [7];
- Руберойд, пергамін 1000 кг/м3 δ=0,03 м, λ=0,17 Вт/м·К [7].

Підставимо у формулу (3.1):

$$R_г = \frac{1}{10} + \frac{0,4}{2,04} + \frac{0,1}{0,2} + \frac{0,03}{0,09} + \frac{0,03}{0,17} + \frac{1}{23} = 1,35\ \frac{м^2 \cdot К}{Вт}.$$

Коефіцієнт теплопередачі даху становить за формулою (3.2):

$$k_г = \frac{1}{1,35} = 0,74\ \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

Отже, ізоляційні характеристики даху не задовільні.

Перекриття над неопалювальним підвалом

- Залізобетонне перекриття δ=0,2 м, λ=2,04 Вт/м·К [7];
- Гравій керамзитовий δ=0,1 м, λ=1,12 Вт/м·К [7].

Підставимо у формулу (3.1):

$$R_{п} = \frac{1}{5,9} + \frac{0,2}{2,04} + \frac{0,1}{0,12} + \frac{1}{12} = 1,18\ \frac{м^2 \cdot К}{Вт}.$$

Коефіцієнт теплопередачі перекриття над неопалювальним підвалом становить за формулою (3.2):

$$k_{п} = \frac{1}{1,27} = 0,85\ \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

Визначення втрат теплоти для огороджувальних конструкцій

Тепловтрати через зовнішні огородження визначаються за формулою (3.3):

$$Q_{о} = \Sigma(К_{і} \cdot F_i \cdot \Delta t_i) b_u\ (1 + \Sigma\beta) = \sum \left(\frac{1}{R_i} \cdot F_i \cdot \left(t_{вн} - t_{р.о}\right)\right) b_u (1 + \Sigma\beta), \qquad (3.3)$$

де R_i - опір теплопередачі i-ого огородження, [м^2·К/Вт],

F_i - площа i-ої огороджувальної конструкції, [м^2];

$t_{вн}$ - розрахункова температура внутрішнього повітря, [^{0}С] за [8];

$t_{р.о}$ - розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування опалення, [^{0}С] за [8];

b_u - поправочний коефіцієнт урахування зменшення розрахункової різниці температур між кондиціонованим та некондиціонованим об'ємом/зоною, для усіх інших огороджень b_u = 1;

$\Sigma\ \beta$ - сумарні додаткові втрати теплоти в частках від основних тепловтрат, які враховуються для зовнішніх вертикальних огороджувальних конструкцій будівлі (стіни, двері і вікна), орієнтовані на:

- північ, схід, північний-схід і північний-захід - $\Sigma\beta$ = 0,1;

- південний-схід і захід - $\Sigma\beta$ = 0,5;

- для усіх інших огороджень $\Sigma\beta$ = 0.

Результати розрахунків занесемо до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Втрати теплоти, Вт

Огородження	Орієнтація	R, м²·К/Вт	F, м²	Δt,⁰С	b_u	1+Σβ	Q_o, Вт
ЗС	Пд	0,89	934,5	42	1	1	44100,00
	Зх	0,89	163		1	1,05	8076,74
	Пн	0,89	934,5		1	1,1	48510,00
	Сх	0,89	163		1	1,1	8461,35
СК	Пд	0,55	291,6	42	1	1	22267,64
	Зх	0,55	31,86		1	1,05	2554,59
	Пн	0,55	291,6		1	1,1	24494,75
	Сх	0,55	31,86		1	1,1	2676,24
Г	-	1,47	1219	42	1	1	37924,4
П	-	1,27	1219	42	0,6	1	26032,9
Разом							231735,8

Витрати теплоти на потреби природньої інфільтрації можна визначити за формулою:

$$Q_{\text{інф}}=0{,}337\cdot n_{\text{об}}\cdot V\cdot(t_{\text{вн}}-t_{\text{р.о}}), \quad (3.4)$$

де $n_{\text{об}}$ - кратність повітрообміну, приймаємо $n_{\text{об}}$ = 0,6 год$^{-1}$;

V - кондиціонований об'єм будівлі, приймаємо 20291 м^3.

Підставляємо всі значення в формулу (3.4):

$$Q_{\text{інф}} = 0{,}337\cdot 0{,}6\cdot 20291\cdot(20-(-22)) = 172319{,}29 \text{ Вт}.$$

Сумарні теплові втрати будинку:

$$Q_\Sigma = Q_{\text{о}} + Q_{\text{інф}}, \quad (3.5)$$

Визначимо сумарні теплові втрати підставивши у формулу (3.5):

$$Q_\Sigma = 231735{,}8 + 172319{,}29 = 404055{,}1 \text{ Вт}.$$

На рисунку 3.1 продемонструємо теплові втрати через зовнішні огородження та інфільтрації.

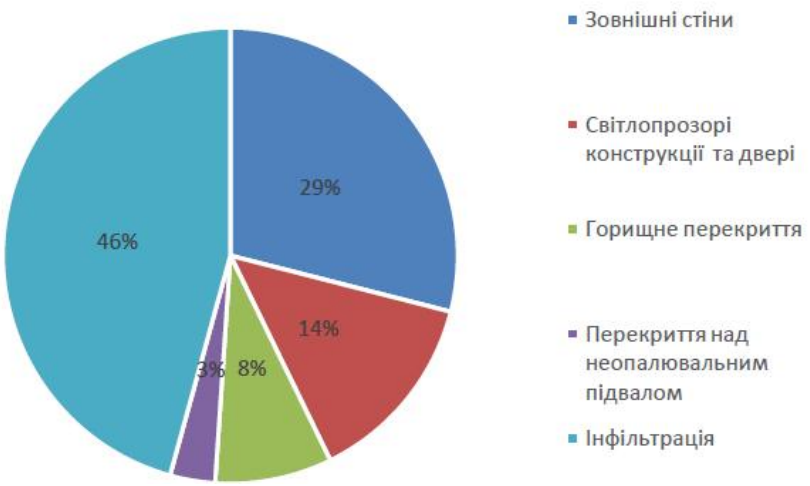


Рисунок 3.1 - Баланс втрат теплоти гуртожитку

3.3 Аналіз розрахункових та фактичних даних по споживанню з приведенням до нормативних погодних умов

Споживання на опалення становить 607,7; 472,7 та 562,56 Гкал відповідно.

Значення зовнішньої температури занесемо до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Фактичні погодні умови

Рік	2023	2024	2025
$t_{зовн.}$	0,3	0	-0,1
$t_{вн.факт}$	21	21	20

Сумарні теплові втрати будинку:

$$Q^{норм} = Q_{спож} \cdot \frac{\left(t_{вн} - t_{с.о.}\right)}{\left(t_{вн.факт} - t_{зовн}\right)}. \quad (3.6)$$

Підставляємо всі значення в формулу (3.6):

$$Q^{норм}_{2023} = 607{,}7 \cdot \frac{(20-(-0{,}1))}{21-0{,}3} \cdot \frac{176}{163} = 636{,}8 \ \frac{Гкал}{рік};$$

$$Q^{норм}_{2024} = 472{,}7 \cdot \frac{(20-(-0{,}1))}{21-0} \cdot \frac{176}{163} = 581{,}1 \ \frac{Гкал}{рік};$$

$$Q_{2025}^{норм} = 562{,}56 \cdot \frac{(20-(-0{,}1))}{20-(-0{,}1)} \cdot \frac{176}{163} = 510,,4 \ \frac{Гкал}{рік};$$

$$Q_{сер}^{норм} = \frac{636{,}8+581{,}1+510{,}4}{3} = 576{,}1 \ \frac{Гкал}{рік}.$$

Де $n_{норма} = 176$ днів

$n_{факт} = 163$ днів тому що гуртожиток підключають пізніше, а відключають раніше через організаційні причини. Це дозволить усередненому фактичному споживанню зійтися з розрахунковим показником.

Річна витрата теплової енергії для існуючої будівлі, [Гкал/рік]:

$$Q_{рік}^{існ} = Q_{\Sigma} \cdot \frac{t_{вн}-t_{с.о.}}{t_{вн}-t_{р.о.}} \cdot n_0 \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1{,}163}. \qquad (3.7)$$

Сумарні теплові втрати підставивши у формулу (3.7):

$$Q_{рік}^{існ} = 376899{,}98 \cdot \frac{20-(-0{,}1)}{20-(-22)} \cdot 176 \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1{,}163} = 701{,}4 \ \frac{Гкал}{рік}.$$

Різниця між розрахунковим показником та реальним приведеним споживанням (576,1 Гкал/рік) обумовлена тим, що в будівлі через війну та дистанційне навчання проживає значно менше студентів (290 замість 708), що знизило внутрішні побутові тепловиділення та вентиляційне навантаження. Розрахунок є повністю адекватним і приймається за основу.

3.4 Розроблення типових заходів з енергоефективності для огороджувальних конструкцій

Утеплення стін

Площа зовнішніх стін, що потребують теплоізоляції, 2195 м^2. Інвестиції на утеплення стін приймаємо в розмірі 3000 грн/м^2 [9] з урахуванням демонтажних і монтажних робіт.

При використанні базальтового утеплювача з δ = 0,15 м та R = 0,04 (м^2·К)/Вт, яку розрахуємо за формулою (3.1):

$$R_{нс} = \frac{1}{8{,}7} + \frac{0{,}007}{0{,}87} + \frac{0{,}005}{1{,}1} + \frac{0{,}51}{0{,}7} + \frac{0{,}15}{0{,}04} + \frac{1}{23} = 4{,}65 \ \frac{м^2 \cdot К}{Вт}.$$

Зменшення втрати тепла через зовнішні стіни, визначаємо за формулою:

$$\Delta Q_{ст} = \sum \left(\left(\frac{1}{R_c} - \frac{1}{R_{н.с}} \right) \cdot F_{сті} \cdot \left(t_{вн} - t_{р.о} \right) \right) \cdot b_u (1 + \Sigma\beta) \qquad (3.8)$$

Підставляючи всі значення в формулу (3.6), отримуємо:

$$\Delta Q_{ст} = \left(\frac{1}{0{,}89} - \frac{1}{4{,}65} \right) \cdot \left(20 - (-22) \right)$$
$$\cdot \sum (934{,}5 \cdot 1{,}1 + 163 \cdot 1{,}05 + 934{,}5 \cdot 1{,}1 + 163 \cdot 1{,}05)$$
$$= 91778{,}7 \ Вт.$$

Річна економія теплової енергії розраховується:

$$\Delta Q_{рік}^{ут.\,ЗС} = \Delta Q_{ст} \cdot \frac{t_{вн} - t_{с.о.}}{t_{вн} - t_{р.о.}} \cdot n_0 \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1{,}163}. \qquad (3.9)$$

Підставляючи всі значення в формулу (3.9), отримуємо:

$$\Delta Q_{рік}^{ут.ЗС} = 91778{,}7 \cdot \frac{20 - (-0{,}1)}{20 - (-22)} \cdot 176 \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1{,}163} = 159{,}6 \ \frac{Гкал}{рік}.$$

Річна економія грошових витрат розраховується наступним чином:

$$\Delta E = \Delta Q_{рік}^{ут.ЗС} \cdot T, \qquad (3.10)$$

де Т - плата за теплову енергію, Т = 4068 грн/Гкал.

Розраховуємо річну економію коштів, підставляючи значення в формулу (3.8):

$$\Delta \text{E} = 159{,}6 \cdot 4068 \ = 649\,252{,}8 \text{ грн/рік}.$$

Простий термін окупності цього заходу розраховуємо за формулою:

$$T_{ок} = \frac{I}{\Delta E}. \qquad (3.11)$$

Витрати на утеплення становлять $\text{I} \ = \ 2195 \cdot 3000 = 6\,585\,000$ грн. Це значення вставимо в формулу (3.9):

$$T_{ок} = \frac{6\,585\,000}{649\,252{,}8} = 10{,}1 \ років.$$

Заміна вікон

Передбачається демонтаж старих дерев'яних віконних блоків та встановлення сучасних п'ятикамерних металопластикових вікон із двокамерними енергозберігаючими склопакетами, заповненими аргоном

Загальна площа засклення становить 646,92 м^2

Новий опір теплопередачі вікон $R_{\text{вік.н}}$ = 0,9 м^2·К/Вт.

Теплові втрати існуючої будівлі становлять $Q_{\text{ск.існ}}$ = 51992,87 Вт.

Теплові втрати після замін вікон можна знайти за формулою:

$$Q_{ск\ нов} = \frac{1}{R_{вік.\ н}} \cdot F \cdot \left(t_{вн} - t_{р.о}\right) \qquad (3.12)$$

Далі всі необхідні значення підставимо в формулу (3.11):

$$Q_{ск\ нов} = \frac{1}{0{,}9} \cdot 646{,}92 \cdot 42 = 30189{,}6\ Вт.$$



Рисунок 3.2 - Конструкція енергозберігаючих вікон, що пропонуються

Річна економія енергії за рахунок зменшення теплопередачі [Гкал/рік]:

$$\Delta Q_1 = \Delta Q \cdot \frac{t_{вн} - t_{с.о.}}{t_{вн} - t_{р.о.}} \cdot n_0 \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1{,}163}. \qquad (3.13)$$

$$\Delta Q_1 = (51992{,}87 - 30189{,}6) \cdot \frac{20 - (-0{,}1)}{20 - (-22)} \cdot 176 \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1{,}163} = 37{,}8\ \frac{Гкал}{рік}.$$

Річне скорочення споживання теплової енергії [Гкал] за рахунок зменшення інфільтрації (неорганізований природній повітрообмін):

$$\Delta Q_2 = \Delta n_{об} \cdot V \cdot \rho \cdot c_{пов} \cdot (t_{вн} - t_{с.о.}) \cdot n_o \cdot 24 \cdot 10^{-6} / (3600 \cdot 1{,}163), \qquad (3.14)$$

де $\Delta n_{об}$ - зменшення кратності інфільтрації після заміни вікон:

до заміни n = 0,7,

після заміни n = 0,6 (за ДСТУ Б.EN 15251);

$V_к$ = V*0,3 - частина опалювального об'єму, де змінюється інфільтрація, де V опалювальний об'єм приміщень;

ρ = 1,293 кг/м^3 густина повітря;

c = 1005 Дж/(кг·К) - теплоємність повітря.

Після заміни економія:

$$\Delta Q_2 = 0{,}05 \cdot 20291 \cdot 1{,}293 \cdot 1005 \cdot \big(20 - (-0{,}1)\big) \cdot 24 \cdot 176 \cdot \frac{10^{-6}}{3600 \cdot 1{,}163} = 26{,}8 \frac{Гкал}{рік}.$$

Скорочення споживання теплової енергії за рахунок заміни вікон [Гкал/рік]:

$$\Delta Q^{в}_{рік} = \Delta Q_1 + \Delta Q_2 \quad (3.15)$$

Підставляємо знайдені значення в формулу (3.18):

$$\Delta Q^{в}_{рік} = 37{,}8 + 26{,}8 = 64{,}6 \text{ Гкал/рік}.$$

Підставляємо значення в формулу (3.8):

$$\Delta E = 64{,}6 \cdot 4068 = 262\,792{,}8 \frac{грн}{рік}.$$

Інвестиції на заміну віконних і дверних прорізів (металопластикові конструкції) витрати «під ключ» приймаємо в розмірі 6000 грн/м^2 [9].

Простий термін окупності заходу з заміни вікон, [років], за формулою (3.9):

$$T_{ок} = \frac{646{,}92 \cdot 6000}{262\,792{,}8} = 14{,}8 \text{ років}.$$

3.5 Розроблення типових заходів з енергоефективності для інженерних систем будівлі та джерел енергії

Модернізація ІТП

Пропонується заміна застарілого елеваторного вузла на сучасний блочно-модульний Індивідуальний Тепловий Пункт (ІТП) із залежною схемою підключення опалення (автоматичне погодне регулювання, циркуляційні насоси з частотним приводом) та незалежним контуром ГВП через пластинчастий двоступеневий теплообмінник. Передбачено нічне зниження температури до 17 °С.

Загальна економія тепла від регулювання становить 145,2 Гкал/рік

Капітальні інвестиції в обладнання та монтаж приймаємо на рівні

1 800 000 грн.

Річна економія:

$$\Delta E = 145{,}2 \cdot 4068 = 590\,673{,}6\ грн/рік$$

Термін окупності:

$$T_{ок} = \frac{1\,800\,000}{590\,673{,}6} = 3\ роки$$

Теплоізоляція трубопроводів та запірної арматури в підвалі

Опис заходу: Стара теплоізоляція на магістральних трубопроводах опалення, що проходять через неопалювані підвали, наразі повністю зруйнована і не виконує своїх функцій. Щоб нормалізувати циркуляційний тиск у системі, спочатку пропонується очистити від накипу та відкладень внутрішні поверхні конструкційних сталевих труб, які мають теплопровідність $\lambda = 50{,}2$ Вт/(м·К), $d_{зовн} = 60$ мм , $d_{вн} = 50$ мм . Після цього магістралі будуть ізольовані сучасними пінополіуретановими циліндрами завтовшки 50 мм із коефіцієнтом теплопровідності $\lambda_{ут} = 0{,}028$ Вт/(м·К). Ці циліндри мають одностороннє захисне покриття з фольги на самоклейній основі. Загальна протяжність трубопроводів у підвальних приміщеннях становить 210 м. Розрахункові параметри для обґрунтування заходу: середня температура теплоносія в мережі - 80 °С, а температура навколишнього повітря в підвалі - 10 °С.

Розрахунок теплового потоку: Розрахунки за граничними умовами III роду показують, що лінійний тепловий потік від неізольованої труби зменшується після накладання ізоляції з 155,2 Вт/м до 35,6 Вт/м . Питоме зменшення теплових втрат складає:

$$\Delta q = 119{,}6\ Вт/м$$

Річна економія енергії: За опалювальний період тривалістю 176 днів (4224 год) економія теплоти по всій довжині мережі становить:

$$\Delta Q = \frac{119{,}6 \cdot 210 \cdot 4224}{10^6 \cdot 1{,}163 \cdot 10^3} = 91{,}2\ Гкал/рік$$

Фінансова економія:

$$\Delta E = 91{,}2 \cdot 4068 = 371\,001{,}6\ грн/рік$$

Капітальні інвестиції: При вартості матеріалу 1185грн/м

та монтажу 50 грн/м:

$$I = 210 \cdot (1185 + 50) = 259\,350\ грн$$

Простий термін окупності:

$$T_{ок} = \frac{259\,350}{371\,001{,}6} = 0{,}7\ року \approx 8\ місяців$$

Висновки до розділу 3

У третьому розділі проведено комплексний теплотехнічний аналіз будівлі гуртожитку №13 КПІ ім. Ігоря Сікорського та розроблено енергоефективні заходи, спрямовані на зниження теплових втрат та оптимізацію споживання енергоресурсів. Усі заходи прораховані за єдиним економічно обґрунтованим тарифом 4068 грн/Гкал. Результати були наведені в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 - Зведені техніко-економічні показники запропонованих теплових заходів

№	Назва енергоефективного заходу	Річна економія теплоти ΔQ, Гкал	Річний фінансовий ефект ΔE, грн	Простий термін окупності Ток, роки
1	Термомодернізація (утеплення) стін (δ = 15 см)	159,6	649 252,8	10,1
2	Заміна віконних блоків на п'ятикамерні МП	64,6	262 792,8	14,8
3	Модернізація ІТП (погодне керування + ГВП)	145,2	590 673,6	3
4	Теплоізоляція трубопроводів опалення у підвалі	91,2	371 001,6	0,7
	Комплексна теплова модернізація об'єкта	460,6	1 873 720,8	5,9

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ

4.1 Аналіз існуючого стану та сучасних тенденцій розвитку енергоменеджменту

Дослідження поточного стану та головних векторів розвитку енергетичного менеджменту в секторі студентських гуртожитків є першочерговим завданням. Це необхідно для налагодження раціонального використання ресурсів та оптимізації енергетичних витрат у житлових спорудах такого типу. Насамперед потрібно детально оцінити наявні інженерні мережі - системи опалення, внутрішнього освітлення, вентиляції повітря, а також інші впроваджені енергозберігаючі рішення. Такий підхід дасть змогу зафіксувати реальні обсяги споживання та локалізувати зони найбільших втрат енергії. У підсумку ми чітко побачимо, які саме елементи системи енергоменеджменту працюють неефективно і потребують модернізації чи реконфігурації.

Новітні підходи та технологічні інструменти в енергетичному менеджменті сьогодні базуються на інтеграції інтелектуальних систем автоматизації, безперервного моніторингу та цифрового управління енергопотоками. На практиці це означає:

- розгортання мережі спеціальних давачів і сенсорів;
- автоматизований збір та глибокий аналіз інформації про поточне навантаження;
- масове впровадження енергоефективних компонентів (перехід на LED-освітлення, встановлення автоматики для терморегуляції тощо).

Спираючись на результати проведеного технічного аудиту та враховуючи світовий досвід, можна сформувати цілісну стратегію оптимізації енергетичного менеджменту для житлових корпусів гуртожитків. Цей план має поєднувати як суто технічні заходи (інтеграцію нового обладнання й автоматизованих систем контролю), так і соціальну складову - навчання мешканців правилам ощадливого споживання ресурсів у повсякденному житті. Системний моніторинг допоможе тримати витрати під постійним контролем. Завдяки такому комплексному підходу можна досягти суттєвого зниження енергоспоживання та зменшення комунальних платежів, що позитивно вплине на екологію і принесе реальний економічний ефект.

Діяльність у сфері енергоменеджменту на об'єктах житлового призначення чітко регламентується низкою нормативно-правових актів та стандартів, які покликані гарантувати безпеку й енергоефективність будівель. Серед ключових регуляторних інструментів варто виділити:

- Будівельні норми та державні стандарти: вони визначають чіткі архітектурно-інженерні вимоги до об'єктів (зокрема й гуртожитків), встановлюючи мінімальні планки для теплоізоляції стін, ККД систем опалення, вентиляційних вузлів та освітлювальних ліній.

- Енергетична сертифікація будівель: офіційний документ (енергетичний сертифікат) наочно демонструє реальний клас енергоефективності споруди та містить базові рекомендації щодо його підвищення. У багатьох випадках наявність такого сертифіката є обов'язковою умовою для введення об'єкта в експлуатацію чи проведення операцій із нерухомістю.

- Профільне законодавство в енергетичній сфері: державні закони регулюють загальні правила споживання паливно-енергетичних ресурсів. Вони можуть зобов'язувати частково переходити на відновлювану енергетику, обмежувати ліміти споживання або передбачати штрафні санкції за грубе порушення встановлених нормативів.

Суворе дотримання цих юридичних та інженерних вимог є фундаментом для побудови енергоефективного та екологічного простору в студентських житлових комплексах, що безпосередньо покращує умови проживання та побуту студентів.

4.2 Рекомендації щодо розвитку систем обліку та моніторингу споживання енергії та ресурсів

Для оптимізації процесів у гуртожитку №13 пропонується розгорнути та впровадити сучасну автоматизовану систему енергетичного менеджменту (АСЕМ). Вона проектується як багаторівнева ієрархічна структура, головна функція якої — автоматичний збір, фіксація та глибокий аналіз параметрів енергоспоживання разом із моніторингом робочих режимів технологічного обладнання. Крім того, АСЕМ підтримує швидку інтеграцію та обмін даними із суміжними цифровими платформами, включаючи білінгові розрахункові системи.

Ключові переваги та можливості системи

Впровадження енергомоніторингу за допомогою АСЕМ відкриває такі можливості:

- Зниження фінансових витрат на оплату енергоносіїв та поточне технічне обслуговування обладнання в межах від 5% до 30%.

- Забезпечення чесного та прозорого розподілу витрат на енергію між окремими групами споживачів.

- Стабілізація та покращення показників внутрішнього мікроклімату в приміщеннях.

- Надійний автоматичний контроль за процесами, що мінімізує ризики через людський фактор або неуважність.

- Оперативна обробка великих масивів інформації від багатьох точок обліку в режимі реального часу (технологія BigData).

- Використання гнучких та адаптивних алгоритмів аварійної сигналізації.

Така ефективність досягається завдяки миттєвому отриманню та детальному аналізу точних даних безпосередньо з об'єкта. Технічна архітектура АСЕМ дозволяє легко інтегрувати її з більшістю типів уже змонтованих на об'єкті лічильників (електричної та теплової енергії, газу, гарячого та холодного водопостачання), а також з різними аналоговими чи цифровими давачами. Якщо виникне потреба розширити систему, її функціонал можна легко доукомплектувати додатковими модулями для вимірювання температури, рівня вологості, тиску в мережах або концентрації вуглекислого газу (CO_2) в кімнатах.

Загальну логіку функціонування АСЕМ можна розділити на чотири базові етапи:

1. Контроль: цілодобове відстеження обсягів енергоспоживання та критично важливих параметрів роботи мережі в реальному часі.

2. Аналіз: побудова та вивчення детальних графіків споживання ресурсів з урахуванням зовнішніх чинників (наприклад, погодних умов).

3. Звітність: автоматичне створення звітних форм заданого зразка та їх швидкий експорт у суміжні інформаційні системи.

4. Налаштування: точне калібрування та оптимізація робочих режимів інженерного обладнання для мінімізації втрат.

Приклад інтерфейсу робочого простору системи моніторингу наведено на рисунку 4.1.

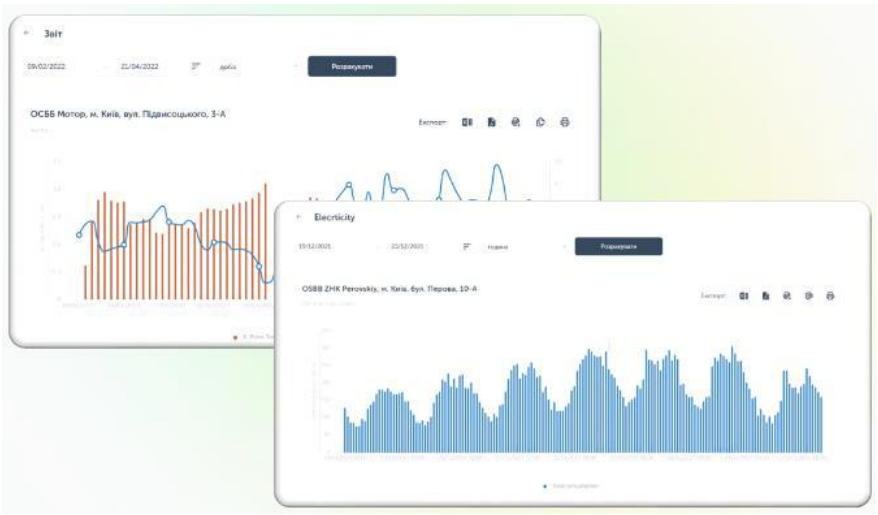


Рисунок 4.1 – Моніторингова панель АСЕМ

4.3 Рекомендації щодо організаційно-управлінських заходів

Побудова сучасної системи енергоменеджменту в КПІ ім. Ігоря Сікорського є важливим кроком, який допоможе суттєво скоротити невиправдані витрати енергії та оптимізувати її використання на балансі всього закладу. Для успішної реалізації цієї стратегії пропонується впровадити такий комплекс організаційних та управлінських кроків:

Комплексний енергетичний аудит: регулярне проведення інженерних обстежень для детального вивчення структури споживання ресурсів у корпусах університету та точного визначення місць, де відбуваються найбільші втрати.

Формування стратегії енергоефективності: створення чіткої довгострокової програми дій, що міститиме перелік конкретних енергозберігаючих заходів, плани щодо інтеграції відновлюваних джерел енергії та правила оптимізації внутрішніх енергетичних потоків.

Розгортання систем моніторингу та диспетчеризації: монтаж сучасних технічних засобів обліку, які дозволять безперервно стежити за витратами паливно-енергетичних ресурсів та оперативно виявляти нові можливості для економії.

Інформаційна робота зі студентами та персоналом: організація практичних семінарів, коротких тренінгів та тематичних кампаній, спрямованих на популяризацію культури дбайливого ставлення до енергоресурсів серед колективу університету.

Впровадження мотиваційних програм: розробка інструментів стимулювання та заохочення для активних студентів і співробітників, які пропонують або допомагають реалізовувати ефективні енергозберігаючі рішення.

Постійний перегляд та актуалізація стратегії: систематичний аналіз результатів від упроваджених заходів, коригування та оновлення загальної програми енергоменеджменту відповідно до появи нових технологічних рішень чи змін у законодавстві.

Ці кроки допоможуть збудувати в університеті дієву управлінську вертикаль, яка забезпечить постійне зниження фінансових витрат та підвищить загальну енергоефективність закладу.

Висновок до розділу 4:

Розвиток сучасного енергетичного менеджменту є базовим інструментом для підвищення ефективності використання ресурсів та суттєвого зменшення фінансових витрат організації у теперішніх економічних умовах.

Інтеграція нових енергозберігаючих технологій, запуск автоматизованих платформ моніторингу, підвищення екологічної свідомості колективу та розробка стимулюючих програм є невід'ємними складовими цього процесу. Головний підсумок полягає в тому, що модернізація системи енергоменеджменту потребує системної та комплексної взаємодії абсолютно всіх учасників процесу. Практичне застосування запропонованого комплексу рішень дозволить гарантовано зменшити споживання ресурсів, оптимізувати поточні витрати та вивести рівень енергоефективності об'єкта на якісно новий рівень.

5 ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ ВДОСКОНАЛЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ ТА ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ

5.1 Характеристика відновлювальних та нетрадиційних джерел енергії

Під відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ) слід розуміти енергетичні потоки, які постійно або з певною періодичністю виникають у природному середовищі. Загалом ці ресурси поділяють на дві великі категорії: безпосереднє сонячне випромінювання та похідні від нього процеси, серед яких - вітрові потоки, гідроенергія, тепло навколишнього середовища, біомаса тощо.

Сучасна класифікація ВДЕ виглядає наступним чином:

- променева енергія Сонця;
- енергія вітру;
- гідроенергетичні ресурси (течії, морські хвилі, припливи);
- теплове розсіювання довкілля (повітряні маси, надра Землі, акваторії морів та океанів);
- енергія біомаси;
- геотермальні ресурси.

Сьогодні у світі розвиток нетрадиційної та відновлюваної енергетики (НВДЕ) вважається одним із найінноваційніших та найефективніших шляхів подолання глобальної енергетичної кризи. Головними плюсами таких джерел є їхній невичерпний характер та екологічність, що вкрай важливо на тлі швидкого виснаження традиційного викопного палива та критичного забруднення біосфери. Крім того, ці ресурси не потребують значних витрат

на видобуток чи логістику, адже вони формуються природним шляхом через вплив сонця на фізико-хімічні та біологічні процеси нашої планети. Ключова перевага переходу на зелену енергетику полягає в тому, що вона є практично нескінченною, безпечною для екології та не порушує природний тепловий баланс Землі.

5.2 Сонячна енергетика в Україні

Україна володіє суттєвим потенціалом для масштабування фотоенергетичних потужностей. Водночас вітчизняний енергетичний сектор на базі традиційних ресурсів переживає серйозну кризу. Серед головних проблем варто виділити морально та фізично застаріле обладнання, критичний знос основних генераційних фондів (як електричних, так і теплових), а також низький коефіцієнт корисної дії при спалюванні палива. Як наслідок, це призводить до масштабних шкідливих викидів в атмосферу.

З огляду на це, сонячна енергетика виглядає одним із найбільш перспективних напрямків розвитку. Клімат України з великою кількістю сонячних днів дозволяє розглядати сонячну генерацію як надійний інструмент для покриття внутрішнього попиту на електроенергію. Активне впровадження таких рішень допоможе знизити імпортозалежність, оздоровити екологічну ситуацію та суттєво зміцнити енергетичну безпеку держави. Тому розвиток фотовольтаїки в Україні - це не просто альтернатива, а стратегічна потреба для забезпечення сталого розвитку.

Повноцінному розширенню цієї галузі зараз заважає повномасштабна російська агресія, проте профільні експерти наголошують на необхідності руху вперед. Першочерговими кроками для цього мають стати:

- продумане фінансове планування відбудови пошкодженої інфраструктури із залученням коштів спеціалізованих міжнародних фондів;

- пряме інвестування у зведення нових промислових і локальних СЕС;
- створення пільгового клімату для профільного бізнесу та забезпечення їм безперешкодного доступу до ринків збуту.

Варто додати, що в Україні вже створено зручні правові умови для комерціалізації зеленої електроенергії. Реалізація генерації відбувається через відкриті аукціони на майданчику Української енергетичної біржі. Попри війну та окупацію частини територій, відновлювана енергетика України повинна розвиватися з кількох причин:

1. Світовий вектор: це загальний тренд, який активно підтримують у Європі, Азії та Америці.

2. Універсальність: будувати СЕС можна практично в будь-якому регіоні країни.

3. Стабільність мережі: сонячна генерація у зв'язці з вітровою суттєво розвантажує загальну енергосистему та зменшує спалювання вугілля й газу.

5.3 Потенціал використання в Україні

Показники середньорічного сумарного сонячного випромінювання в Україні є досить високими:

від 1 070 кВт · год/м² у північних областях до 1 400 кВт · год/м² і більше в Південних регіонах та АР Крим. Сучасні сонячні панелі здатні працювати цілий рік, хоча пік їхньої максимальної продуктивності очікувано припадає на період тривалістю 7 місяців - із квітня по жовтень.

Для українських умов трансформацію сонячного світла в електрику найдоцільніше базувати на використанні саме фотоелектричних пристроїв. Наявність власної сировинної бази, промислових потужностей та наукової школи дозволяє не лише повністю забезпечити внутрішній попит на таке обладнання, а й експортувати до двох третин виготовлених систем. Орієнтуючись на досвід європейських країн із подібним рівнем інсоляції,

а також враховуючи постійне здешевлення технологій будівництва СЕС у світі, Україна має всі можливості для суттєвого нарощування обсягів виробництва чистої енергії завдяки модернізації ліній та запуску нових об'єктів.

5.4 Ефективність та види сонячних фотомодулів

Напівпровідникові фотоелектричні перетворювачі (ФЕП) вважаються найраціональнішим інструментом для отримання електрики зі світла, адже тут відбувається прямий одноетапний перехід енергії без проміжних процесів. Середній коефіцієнт корисної дії (ККД) серійних промислових зразків тримається на рівні 16%, тоді як передові технологічні розробки досягають позначки у 25%.

За типом матеріалів та специфікою виробництва фотомодулі (ФМ) поділяють на три покоління:

- Перше покоління (на базі кристалічних кремнієвих пластин): монокристалічний (mc-Si) та полікристалічний (m-Si) кремній.

- Друге покоління (тонкоплівкові структури): аморфний, мікро- та нанокремній, кремній на склі (CSG), а також сполуки телуриду кадмію (CdTe).

- Третє покоління (інноваційні рішення): органічні та неорганічні фотомодулі.

Монокристалічні елементи виготовляють із високочистого однорідного кремнію.

Переваги: мають найвищий на ринку ККД (в межах 15-22%), завдяки чому потребують меншої площі для монтажу, та вирізняються довговічністю - виробники сміливо дають на них від 25 років гарантії. Деградації піддається не сам стійкий кристал, а допоміжні елементи (плівки, контакти, захисне покриття).

Недоліки: вища ринкова вартість порівняно з полікристалічними аналогами.

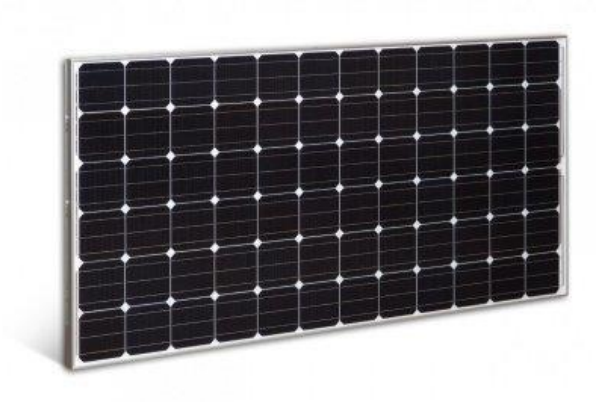


Рисунок 5.1 – Монокристалічна сонячна панель

Полікристалічні панелі створюють на основі елементів, які складаються з великої кількості різноорієнтованих кристалів кремнію. Замість тривалого і витратного вирощування одного великого монокристала, у розплав кремнію вводять спеціальну затравку, де під час охолодження формується множина дрібних кристалічних структур.

Переваги: суттєво дешевші у виробництві через простоту та меншу енергомісткість техпроцесу, а також зазвичай демонструють кращу стійкість до температурних перепадів.

Недоліки: нижчий рівень ККД (орієнтовно 15-18%), через що для отримання аналогічної потужності знадобиться більша площа під встановлення.

5.5 Основний розрахунок ФЕС

Для реалізації цього проєкту було обрано сонячні панелі бренду JA SOLAR потужністю 540 Вт (модель MONO Half-Cell PERC). Зовнішній вигляд модуля показано на рис. 5.3, а його ключові параметри згруповано у таблиці 5.1.



Рисунок 5.3 – JA SOLAR JAM72S30-540/MR 540 WP

Модулі серії JAM72S30 виготовлені за прогресивною технологією Half-cell із використанням 11BB PERC елементів. Це інженерне рішення дозволяє досягти вищої ефективності, гарантує стабільну роботу в умовах часткового затінення, мінімізує ризики перегріву («гарячих точок») та підвищує загальну стійкість конструкції до механічних і вітрових навантажень.

Таблиця 5.1 – Технічні параметри сонячних панелей JA SOLAR JAM72S30-540/MR 540 WP

Основні характеристики	
Тип комірки	Монокристал
Габаритні розміри ФЕМ, мм	2279x1134x35
Номінальна потужність PV модуля (Вт)	540
Струм короткого замикання (А)	13,79
Коефіцієнт перетворення (ККД, %)	20,9
Номінальний робочий струм у ТММ, А	12,97

Напруга холостого ходу, В	49,6
Тип конекторів	QC 4.10
Кількість комірок, шт	144
Номінальна робоча напруга в ТММ, В	41,64
Довжина кабеля	1200
Вага, (кг)	28,6

Для трансформації струму в межах проєкту передбачено використання трьох мережевих інверторів бренду Huawei типу SUN2000-20KTL M0 із номінальною вихідною потужністю 20 кВт кожен (рис. 5.4). Технічні характеристики інверторного обладнання наведено в табл. 5.2.



Рисунок 5.4 – Мережевий інвертор Huawei SUN2000-20KTL M0

Таблиця 5.2 – Технічні параметри інвертора Huawei SUN2000-20KTL M0

Основні характеристики	
Максимальна потужність, кВт	26
ККД інвертора, %	98,6
Потужність інвертора, кВт	20
Кількість MPPT трекерів	2
Ступінь захисту	IP65
Макс. струм MPPT трекера, А	30

Вхідний струм, А	22
Діапазон вхідної напруги, В	160-950
MPPT діапазон напруги, В	200-600

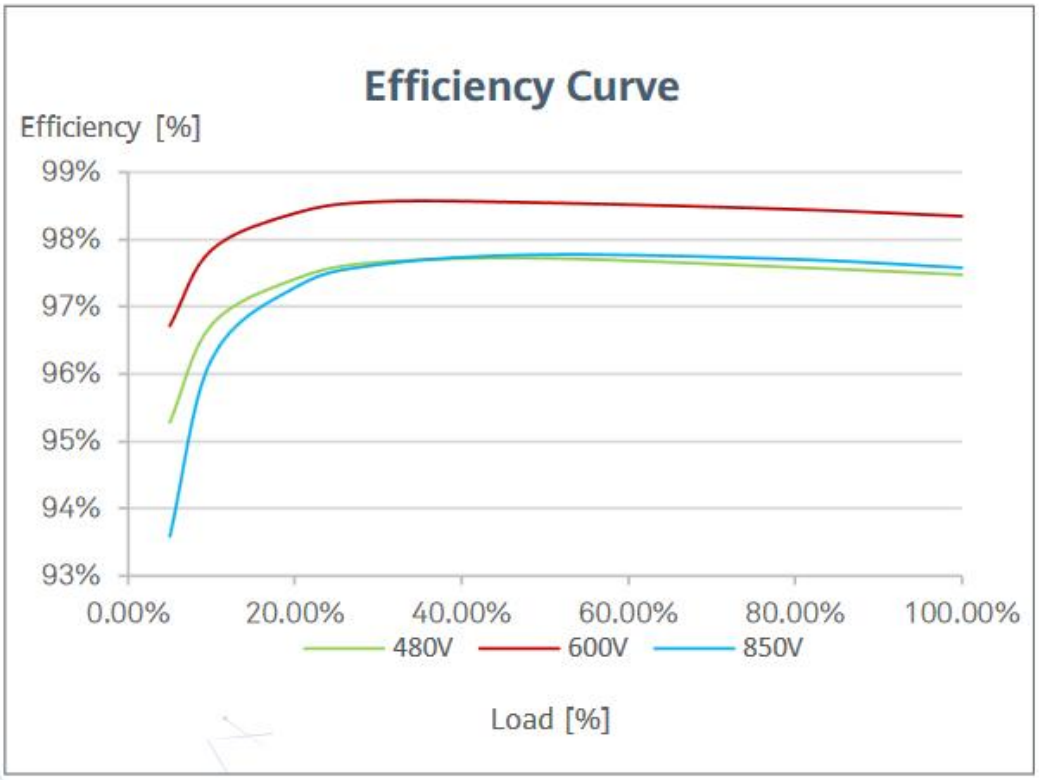


Рисунок 5.5 – Графік залежності коефіцієнта корисної дії (ККД) від навантаження

5.6 Вхідні географічні данні для проектування

Майданчик проектування розташований у місті Київ (північний регіон України). Кліматичні умови тут характеризуються як помірно-континентальні, для яких властиве тепле літо та відносно м'яка зима.

Середні температурні показники становлять $-3{,}5°C$ для січня та $+20{,}5°C$ для липня. Зафіксовані історичні температурні екстремуми становлять $-32{,}2°C$ (абсолютний мінімум) та $+39{,}9°C$ (абсолютний

максимум). Середній рівень річних опадів сягає близько 649 мм із піком у липні (88 мм) та мінімумом у жовтні (35 мм).

Основні проєктно-технічні рішення для СЕС:

- номінальна пікова потужність одного фотомодуля - 540 Вт;
- оптимальний кут нахилу масиву панелей до горизонту - 38°;
- загальна кількість ФМ в системі - 236 одиниць.

5.7 Генерація електричної енергії від сонячного випромінювання

Відповідно до архітектурного плану покрівлі будівлі гуртожитку, корисна площа даху становить $S_д = 1223{,}82$ м^2. Враховуючи доступну площу, геометричні розміри однієї панелі та її паспортну потужність, загальна встановлена потужність проектованої фотоелектричної станції дорівнює:

$$P_{СТ} = 127{,}44 \text{ кВт}.$$

Приблизний розрахунок продуктивності та інсоляції для цієї сонячної електростанції з встановленою потужністю 127,44 кВт.

Таблиця 5.3 – Щомісячна фотоелектрична енергія та сонячне опромінення для гуртожитку [12]

Місяць	Середньомісячна генерація (кВт · год)	Середньомісячна інсоляція (кВт · год/м2)
Січень	4114.6	35.8
Лютий	6134.4	53.1
Березень	11090.2	98.4
Квітень	15876.6	147.8
Травень	17477.8	168.4
Червень	18600.0	181.5

Липень	18169.4	178.7
Серпень	17375.2	170.7
Вересень	14052.8	132.4
Жовтень	9282.9	84.9
Листопад	3984.7	36.2
Грудень	3021.1	27.4

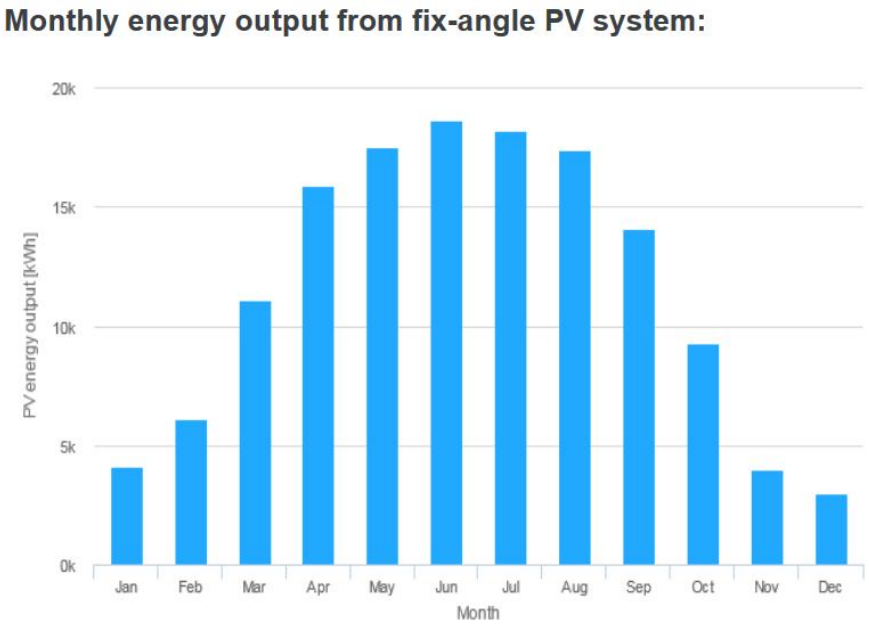


Рисунок 5.6 – Помісячна генерація [12]

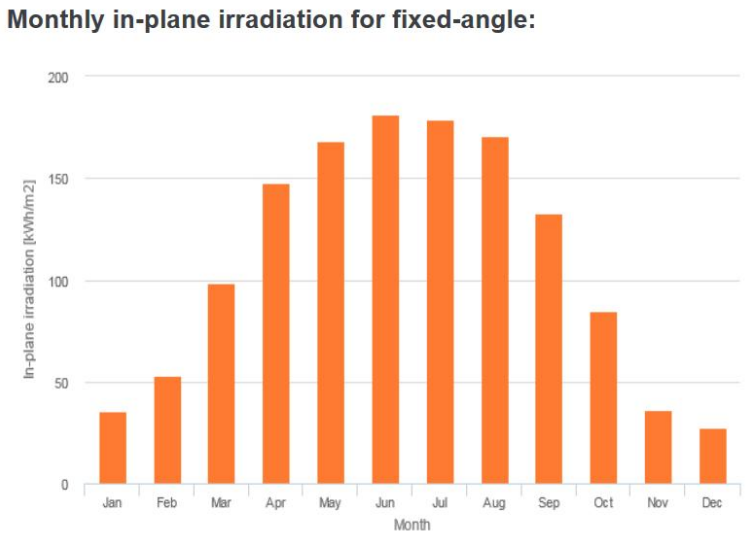


Рисунок 5.7 – Помісячна сонячна інсоляція [12]

Сумарні річні підсумки роботи станції становлять:

- Загальна річна генерація: 139179,77 кВт · год;

- Річний показник сонячної інсоляції на майданчику: 1315,23 кВт · год/м2.

5.8 Техніко-економічне обгрунтування системи

Таблиця 5.4 – Необхідні інвестиції [9]

№	Назва обладнання	Од. вим.	Кількість	Вартість за од. грн без ПДВ	Загальна вартість, грн без ПДВ
1	ФМ JA SOLAR JAM72S30-540/MR 540 WP	шт.	236	8045	1 898 620
2	Комплект кріплень для ФМ	м.	236	790	186 440
3	Кабель	шт.	85	226	19 210
4	Інвертор Huawei SUN2000-20KTL M0	шт.	3	86 016	258 048
Загальна Сума					2 362 318

Для оцінки доцільності інвестицій проведено фінансово-економічний аналіз проєкту. Початкові капітальні вкладення (CAPEX) приймаємо згідно з розрахунками у кошторисі - 2 362,318 тис. грн.

Щорічні витрати на обслуговування та експлуатацію системи (OPEX) закладаємо у розмірі 5% від стартового капіталу, що дорівнює 118,12 тис. грн. Розрахунок щорічного економічного ефекту базується на потужності 127,44 кВт та діючому тарифі для побутового сектору, що в річному еквіваленті забезпечує вигоду на рівні 0,34 тис. грн. Норму дисконту прирівняно до офіційного показника інфляції за 2025 рік, який становив 8%. З метою верифікації внутрішньої норми рентабельності також виконано альтернативний розрахунок при ставці дисконтування 12% (рівень інфляції за 2024 рік). [22].

Таблиця 5.5 – Розрахунок фінансових показників [22. 27]

Рік	Вигоди, тис. грн.	Грошовий потік, тис. грн.	Кумулятивний грошовий потік, тис.грн	Кі	Дисконт. грошовий потік, тис.грн	Дисконт. кумулятивний грошовий потік, тис.грн
0	0	-2362,32	-2362,32	1	-2362,32	-2362,32
1	643,75	525,6341	-1836,68	0,943	495,881	-1866,437
2	845,61	727,4941	-1109,19	0,890	647,467	-1218,970
3	845,61	727,4941	-381,696	0,840	610,818	-608,152
4	845,61	727,4941	345,7984	0,792	576,243	-31,908
5	845,61	727,4941	1073,293	0,747	543,626	511,718
6	845,61	727,4941	1800,787	0,705	512,855	1024,572
7	845,61	727,4941	2528,281	0,665	483,825	1508,398
8	845,61	727,4941	3255,775	0,627	456,439	1964,836
9	845,61	727,4941	3983,269	0,592	430,603	2395,439
10	845,61	727,4941	4710,763	0,558	406,229	2801,668
Разом:	4026,19	4710,763			511,7178	
Внутрішня ставка рентабельності					15,7	
Період окупності					3 роки 6 місяців	
Дисконтований термін окупності					4 роки і 1 місяць	
Чиста приведена вартість					511,72	

Висновок до розділу 5

У межах цього розділу було детально вивчено потенціал сонячної інсоляції в районі запланованого монтажу фотоелектричної станції, а також оцінено загальні перспективи інтеграції нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в енергосистему України. На основі аналізу ключових характеристик різних видів ВДЕ було визначено їхні слабкі та сильні сторони.

Завдяки отриманим даним вдалося підібрати оптимальну комплектацію обладнання, включаючи високоефективні фотомодулі, інвертори, кабелі та відповідні монтажні елементи. Запуск цієї сонячної електростанції дозволить суттєво зменшити витрати на закупівлю електроенергії з мережі та значно підвищить рівень автономності й енергонезалежності об'єкта.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС МОНТАЖУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДАХОВОЇ СЕС

Мета розділу: Аналіз потенційних виробничих небезпек під час монтажу та експлуатації фотоелектричної системи та обґрунтування організаційно-технічних заходів для забезпечення безпеки праці відповідно до чинних нормативних документів
[15, 16, 19, 28].

6.1 Загальна характеристика об'єкта та технічні характеристики

Об’єктом інженерного проектування та модернізації є сонячна електростанція (СЕС) встановленою потужністю 127,44 кВт, що розташовується на південній частині даху будівлі Гуртожитку №13. За класифікацією умов навколишнього простору майданчик розміщення обладнання є зовнішньою електроустановкою (ЕУ), розташованою на висоті 14 метрів над рівнем землі [2, 5]. За ступенем небезпеки ураження людей електричним струмом об'єкт відноситься до особливо небезпечного простору через постійний безпосередній вплив атмосферних чинників (опади, коливання вологості, пряме сонячне випромінювання)[8]. Форма даху являє собою трапецію загальною корисною площею 1223,82 м² [1].



Рисунок 6.1 - Площадка для розміщення СЕС

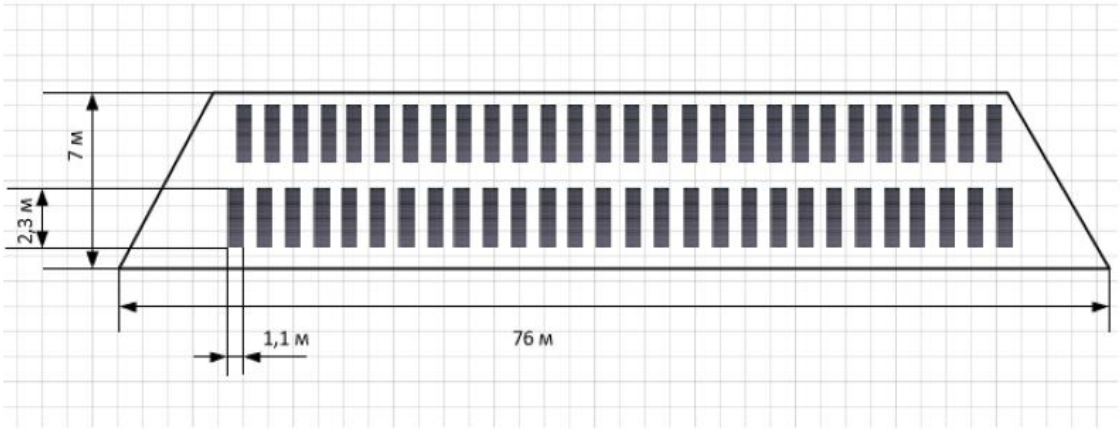


Рисунок 6.2 - Схема розташування сонячних фотомодулів на даху гуртожитку

Технічні характеристики основного та допоміжного обладнання сонячної електростанції, що інтегрується в систему об'єкта, наведені в таблиці 6.1. [11, 13]

Таблиця 6.1 - Опис складових сонячної електростанції

Частина станції	Призначення	Марка	Кількість, шт
Сонячні панелі	Перетворення сонячної енергії, отриманої від сонячного випромінювання, на електричну енергію.	JA SOLAR JAM72S30-540/MR 540 WP	236 шт
Інвертор	Перетворення постійного струму, отриманого від сонячних панелей, в змінний струм, який може бути використаний для живлення електричних пристроїв та підключення до громадських електричних мереж.	Huawei SUN2000-20KTL M0	3 шт
Кабель	Транспортування електричної енергії від сонячних панелей до інверторів та від них до підключених до системи споживачів або електричної мережі.	АВВГ 4х50	85 м
Набір кріплень фотомодулів	Монтаж та установка фотомодулів на площадках розміщення	Комплекти кріплень для фотомодулів в Ecosolution	56 шт

6.2 Організація монтажних робіт та планування процесів

Обслуговування та монтаж здійснює оперативно-виробнича бригада у складі 4 осіб із кваліфікацією не нижче III та IV груп з електробезпеки та наявністю допуску до верхолазних робіт. Перед початком робіт безпосередньо на робочому місці для бригади проводиться цільовий інструктаж тривалістю 15 хвилин.

Таблиця 6.2 - Послідовність робіт та організаційно-технічні заходи безпеки при монтажі СЕС

Вид робіт та етапи	Період року та тривалість PDF	Кількісний склад бригади	Група з електробезпеки	Організаційні та технічні заходи безпеки
1. Проведення цільового інструктажу на місці робіт	Червень, щоденно перед зміною (15 хв.)	4 особи	III, IV	Інструктаж за інструкціями з охорони праці, перевірка ЗІЗ та інструменту.
2. Оформлення дозвільної документації	Червень,5 днів	2 особи (адмін.)	IV	Видача наряду-допуску на виконання робіт підвищеної небезпеки, погодження схеми.
3. Доставка, підйом та монтаж кріплень і панелей	Червень - Липень,14 днів	4 особи	Не нижче III	Застосування механічних лебідок, страхувальних поясів, захисних касок. Робота у сухому стані.
4. Електромонтажні роботи (кабелі, інвертори Huawei)	Липень,10 днів	4 особи	III, IV	Роботи повністю без напруги. Розміщення застережних плакатів, перевірка ізоляції.
5. Пусконалагодження та тестування системи	Серпень,5 днів	3 особи	Не нижче IV	Вимірювання опору розтікання контуру заземлення, випробування під напругою в діелектричних ЗІЗ.

6.3 Моніторинг виробничих умов праці та обґрунтування засобів захисту.

Під час виконання монтажних робіт на відкритому даху персонал піддається значному впливу мікрокліматичних чинників (температура повітря влітку до +35 °C, нагрівання поверхонь сонячних модулів під прямим промінням до +65 °C, пориви вітру до 12 м/с на висоті 14 м) відповідно до до ГН 3.3.5-8-6.6.1-2014 [24]. Оцінка потенційних небезпек та шкідливих виробничих факторів наведена у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 - Оцінка потенційних небезпек та шкідливих виробничих факторів

Небезпечний / шкідливий виробничий чинник	**Джерело виникнення чинника на об'єкті**
Падіння з висоти (14 метрів над землею)	Роботи по периметру покрівлі під час кріплення масивів панелей JA SOLAR.
Ураження електричним струмом (до 1 кВ)	Електричні кола постійного струму від сонячних модулів та змінного струму інверторів Huawei.
Термічні опіки шкіри (поверхні до +65 °C)	Контакт незахищених частин тіла з металевими рамами та склом сонячних модулів.
Дія сонячного випромінювання та перегрів	Тривале перебування бригади на відкритому даху будівлі у літній період робіт.

Відповідно до Методичних рекомендацій кафедри, комплексний підхід до управління ризиками вимагає одночасного визначення технічних, організаційних заходів та засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) для кожного виробничого чинника. Сформована на основі цієї матриці відомість представлена в таблиці 6.4 [19, 28].

Таблиця 6.4 - Комплекс технічних, організаційних заходів та засобів індивідуального захисту (ЗІЗ)

Небезпечний чинник	**Технічні заходи безпеки (конструктивні рішення)**	**Організаційні заходи безпеки (процедури та правила)**	**Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ / марка, модель)**
Падіння з висоти (14 м над землею)	Монтаж міцних опорних металоконструкцій систем Ecosolution, встановлення захисних сіток.	Оформлення наряду-допуску, заборона виконання робіт при швидкості вітру понад 12 м/с або опадах.	Пояс запобіжний лямковий ПЛ «Верхолаз», канат поліамідний (ДСТУ EN 361).

Ураження електричним струмом (до 1 кВ)	Влаштування штучного контуру захисного заземлення для інверторів Huawei та фотомодулів.	Комутація кіл виключно у вимкненому або повністю затіненому стані, вивішування плакатів.	Рукавички діелектричні безшовні зі спеціальної гуми (випробування щопівроку), ізольований інструмент.
Термічні опіки шкіри (+65 °C контакт)	Тимчасове захисне екранування / затінення поверхонь сонячних модулів на етапі монтажу.	Регламентація робочого часу, перенесення найбільш інтенсивного монтажу на ранкові/вечірні години.	Рукавички робочі трикотажні Neo Tools з нітриловим покриттям, щільний спецодяг.
Механічні травми (удари предметів)	Встановлення бортових захисних щитів та захисне огородження небезпечної зони на землі.	Проведення обов'язкового цільового 15-хвилинного інструктажу бригади перед початком зміни.	Каска полікарбонатна з підборідним паском, захисні черевики Neo Tools 82-010 S1P SRA.

6.4 Інженерне обґрунтування технічного заходу: Захисне заземлення

Для захисту персоналу та студентів від непрямого дотику (ураження струмом у разі замикання фази на металеві корпуси інверторів або рами панелей) відповідно до ПУЕ-2018 запроектовано контур штучного захисного заземлення [19]. Розрахунок виконано за методом коефіцієнта використання згідно з рекомендаціями кафедри для суглинкового ґрунту (питомий опір ρ = 100 Ом·м) [28].

Гранично допустимий нормативний опір заземлювального пристрою становить:

$$R_{доп} = 4\ Ом$$

Опір розтікання струму одного вертикального кутникового електрода (розміром 50х50×5 мм, довжиною l1 = 3 м, заглибленого на глибину t0 = 0,7 м від поверхні землі в суглинковий ґрунт із базовим питомим опором

ρ = 100 Ом·м) розраховується за уточненою формулою з методичних рекомендацій [28]:

$$Rв1 = \frac{\rho \cdot \psi}{2 \cdot \pi \cdot l1}\left(\ln\frac{2{,}1 \cdot l1}{b} + 0{,}5 \cdot \ln\frac{4{,}2 \cdot t + l1}{4{,}2 \cdot t - l1}\right)$$

де ψ – коефіцієнт сезонності для суглинку середньої вологості, що дорівнює 1,5 (згідно з табл. В2 методичних вказівок) [28];

b – ширина полиці кутника, яка становить 0,05 м;

t – відстань від поверхні землі до середини вертикального електрода: t = t0 + l1 / 2 = 0,7 + 3 / 2 = 2,2 м. Підставивши числові значення у вираз, отримуємо:

$$R_в1 = \frac{100 \cdot 1{,}5}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 3}\left(\ln\frac{2{,}1 \cdot 3}{0{,}05} + 0{,}5 \cdot \ln\frac{4{,}2 \cdot 2{,}2 + 3}{4{,}2 \cdot 2{,}2 - 3}\right)$$

$$= 7{,}9577 \cdot ln(126) + 0{,}5 \cdot ln\left(\frac{12{,}24}{6{,}24}\right)$$

$$= 7{,}9577 \cdot 4{,}8363 + 0{,}5 \cdot 0{,}6737$$

$$= 7{,}9577 \cdot 5{,}1731 = 41{,}18\ \text{Ом}.$$

Кількість вертикальних електродів без урахування екранування при $\eta = 0{,}7$ становить: $n = Rв1 / (Rдоп \cdot \eta) = 41{,}18 / (4 \cdot 0{,}7) = 14{,}71 \approx 16$ шт. Електроди об'єднуються у замкнений контур горизонтальною сталевою смугою (40х4 мм) довжиною 48 м. З урахуванням екранування за контуром (ηв = 0,65; ηг = 0,36) сумарний фактичний опір пристрою становить: Rшт' = 3,51 Ом. Умова безпеки виконана: 3,51 Ом ≤ 4,0 Ом. Контур повністю надійний і відповідає вимогам нормативно-технічних документів [19].

6.5 Кількісна оцінка виробничих ризиків за методом ймовірностей

Оцінка ризику - процес визначення ймовірності та вагомості наслідків реалізації небезпек аварій для здоров'я людини, майна і довкілля. Для кількісного оцінювання загального рівня безпеки праці під час реалізації проекту використаємо статистичний імовірнісний підхід на основі бази

людино-змін [28]. На основі аналізу аналогічних монтажних об'єктів визначимо математичну ймовірність виникнення небезпечних подій за формулою P = n / N, де n - зафіксована кількість випадків; N - загальна кількість змін. Розрахункові показники наведені в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 - Розрахункові показники ймовірності ризиків

Категорія небезпечного чинника	**Кількість випадків (n)**	**Загальна база процесів (N)**	**Розрахункова ймовірність ризику (P)**
Падіння інструментів / елементів з висоти	7	120	P1 = 7/120 = 0,0583 (5,83%)
Коротке замикання при комутації кіл	4	150	P2 = 4/150 = 0,0267 (2,67%)

Розрахунок загальної інтегральної ймовірності ризику для об'єкта СЕС становить: $Рзаг = 11 / 270 = 0{,}041$ (або 4,1%). Впровадження захисного інструменту, суцільної ізоляції стиків та використання страхувальних систем знижує цей показник до пренебрежимо малого рівня, що забезпечує стабільну та безпечну роботу [20].

6.6 Заходи пожежної безпеки та ліквідації наслідків аварій

Відповідно до НАПБ А.01.001-2014 [15] та Правил пожежної безпеки в енергетичній галузі України (Наказ Міненерговугілля №491) [25], сонячна електростанція на даху цивільної будівлі повинна бути повністю забезпечена первинними засобами ліквідації пожеж під напругою та захищена від атмосферних розрядів блискавки. Комплекс протипожежних заходів наведено в таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 - Комплекс протипожежних заходів та засобів ліквідації аварій

Напрямок протипожежного заходу	**Технічний засіб захисту / ЗІЗ**	**Критерії вибору та локалізація на об'єкті**
Локальне гасіння пожеж під напругою	Вуглекислотні вогнегасники марки ВВ-5 (відповідно до ДСТУ EN 3-7:2014 [17]).	Діелектрична стійкість струменя до 10 кВ. Розміщуються на технічному поверсі будівлі біля інверторів Huawei.
Організація евакуації людей	Евакуаційні плани, світлові покажчики виходів.	Розробка евакуаційних схем за ДБН В.2.5-56:2014 [21]. Двері евакуаційних виходів Гуртожитку №13 відкриваються назовні.
ЗІЗ при ліквідації займань	Протигази фільтрувальні М98 «Scott» з комбінованим фільтром марки ХС, термостійкі костюми.	Захист органів дихання членів добровільної пожежної дружини від чадного газу при горінні ізоляції.

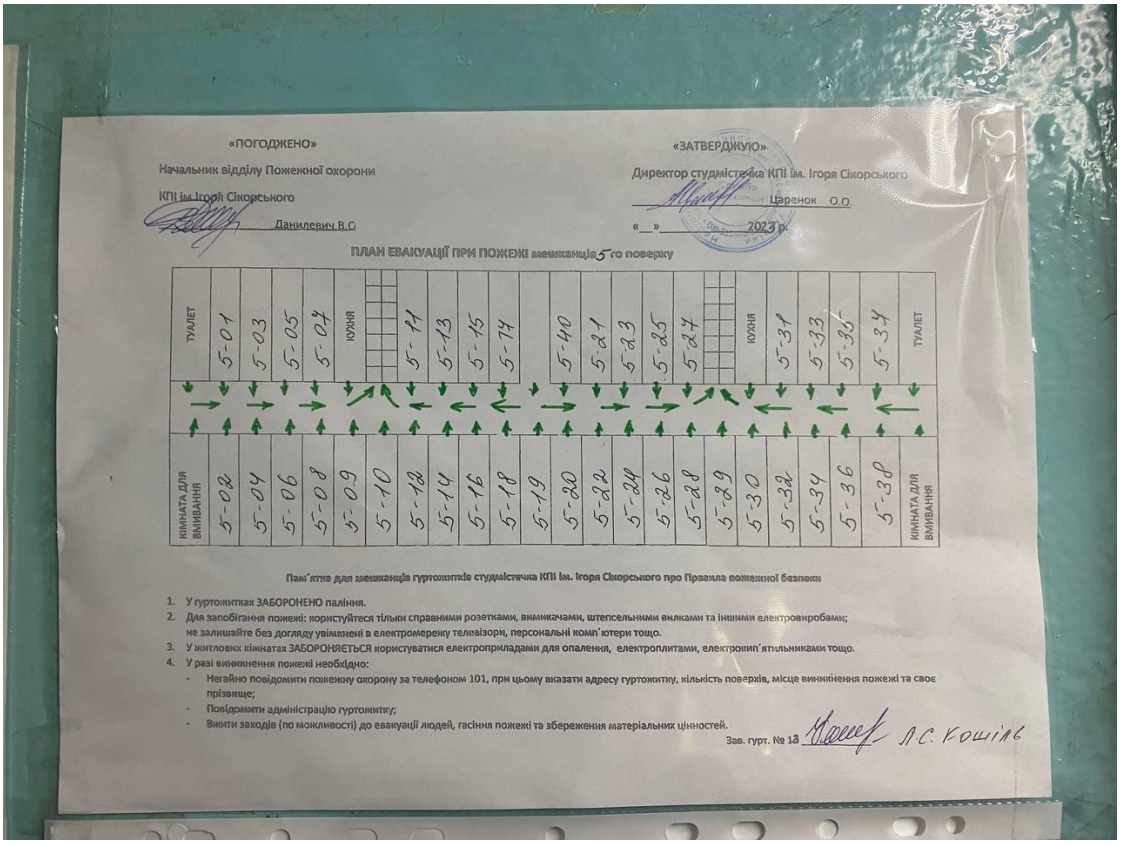


Рисунок 6.4 - План евакуації одного з поверхів Гуртожитку №13

Висновок до розділу 6

У ході виконання розділу проведено детальний аналіз умов праці та потенційних виробничих небезпек при інтеграції дахової сонячної електростанції на будівлі Гуртожитку №13 [20]. З метою повного усунення зауважень було оптимізовано технологічний графік робіт (табл. 6.2), де етапи проведення цільового інструктажу персоналу з безпеки праці (15 хвилин) та отримання нарядів-допусків жорстко передують початку фізичних операцій. Виконано інженерне обґрунтування штучного захисного контуру заземлення інверторного обладнання Huawei [19]. Отриманий фактичний опір розтікання контуру становить 3,51 Ом, що повністю задовольняє вимоги ПУЕ ($R_{доп} \leq 4$ Ом) та нівелює ризик ураження при непрямому дотику. Комплекс протипожежного захисту приведено у повну відповідність до діючих ДБН В.2.5-56:2014 та НАПБ А.01.001-2014, виключивши будь-які суперечності [15, 16, 20].

ВИСНОВКИ

У рамках бакалаврського проєкту було проведено дослідження житлової будівлі гуртожитку № 13 в Києві для підвищення її енергоефективності. Було здійснено енергоаудит, під час якого проаналізовано параметри споживання електричної енергії, тепла та води. На основі результатів енергоаудиту було запропоновано заходи для зниження витрат енергетичних ресурсів.

Для електричної частини було запропоновано заходи із встановлення датчиків руху та організація курсів з просвітницької діяльності задля підвищення енергоефективності, які дозволять зекономити 10000 кВт·год/рік.

Для теплової частини розроблено запропоновано утеплити стіни житлової будівлі, замінити вікна більш енергоефективні та модернізацію ІТП. Ці заходи дозволять заощадити 460 Гкал/рік.

Впровадження цих заходів дозволило значно знизити споживання енергоресурсів, що спричинило зменшення витрат на електричну та теплову енергію. Більшість заходів виявилися економічно доцільними та ефективними.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Google maps: website. URL: https://www.google.com.ua/maps (дата звернення 20.05.2026).

2. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення / Держ. Буд. норми України Вид. офіц. Київ: ДП «Укрархбудшнформ», 2018.

3. Офіційний магазин "ELECTROLEND": вебсайт. URL: https://electrolend.com.ua (дата звернення: 12.05.2026).

4. ДСТУ ISO 50001:2020 Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання (ISO 50001:2018, IDT).

5. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Вид. офіц. Київ: Державні норми України, 2021. - 23 с.

6. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України № 2118-VIII від 22.06.2017. / Верховна Рада України: Законодавство України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19 (дата звернення: 12.05.2026).

7. ДСТУ 9191:2022 Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель.

8. ДСТУ-НБ В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2010. 127 с.

9. Асоціація енергоаудиторів України: вебсайт. URL: https://aea.org.ua/ (дата звернення: 07.05.2026).

10. Держенергоефективності: вебсайт. URL: https://saee.gov.ua/uk (дата звернення: 08.05.2026).

11. . Сонячна батарея моно LONGi LR5-72HPH-535M 9BB half cell 535Вт. solar.biz.ua URL: https://solar.biz.ua/ru/solnechnye-batarei/solnechnye-batarei/solnechnaya-batareya-535vt-mono-lr5-72hph-535m-longi-9bb-half-cell.html (дата звернення 20.05.2026).

12. PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM (PVGIS). pvgis.com URL: https://pvgis.com (дата звернення 20.05.2026).

13. Мережевий інвертор Huawei SUN2000-20KTL-M0 sun-energy.com.ua URL: https://sun-energy.com.ua/solar-power/solar-inverters/huawei_20ktl_m0 (дата звернення 27.05.2026).

14. Акумулятор серії Altek 6FM200GEL АКБ 12v200ah. aky.com.ua URL: https://aky.com.ua/product/altek-6fm200gel-akb/ (дата звернення 27.05.2026).

15. URL: https://setech.in.ua/sonachna-elektrostantsia-na-bahatopoverhovomu-budinku-pid-zelenij-tarif/ (дата звернення 20.05.2026).

16. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні. Вид. офіц. Київ: МВС України, 2014. 45 с.

17. ДСТУ EN 3-7:2014 Вогнегасники переносні. Частина 7. Характеристики, вимоги до робочих параметрів і методи випробувань.

18. ДСТУ 8635:2016 Геліоенергетика. Площадки для фотоелектричних станцій. Приєднання станцій до електроенергетичної системи

19. Про затвердження Правил улаштування електроустановок Про затвердження Правил улаштува... | від 21.07.2017 № 476 (rada.gov.ua)

20. ДБН В.2.5-56:2014 Системи протипожежного захисту. – Київ : Мінрегіон України, 2014. - 123 с.

21. Закон України «Про альтернативні джерела енергії», редакція від 16.07.2015 URL: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/555-15. - С 1 (дата звернення 29.05.2026).

22. Індекс інфляції (2000-2025). Ставки, индексы, тарифы. URL: https://index.minfin.com.ua/ua/economy/index/inflation/ (дата звернення 27.05.2026).

23. НПАОП 0.00-1.15-07. Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті : Затв. наказом Держпромгірнагляду № 62 від 27.03.2007 р.

24. ГН 3.3.5-8-6.6.1-2014. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища. Наказ МОЗ України № 248.

25. Наказ Міненерговугілля України № 491 від 26.09.2018 р. «Прозатвердження Правил пожежної безпеки на підприємствах енергетичної галузі України».

26. Підготовка бакалаврських кваліфікаційних робіт. Організація, вимоги до структури, змісту та оформлення [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Дерев'янко Д.Г., Бориченко О.В., М.М. Шовкалюк - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 63 с. https://ela.kpi.ua/handle/123456789/52305

27. Енергосервісні контракти та послуги у комунальній сфері: Розрахункова робота [Електронний ресурс] : рек. до виконання розрахунк. роботи : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освіт. програмою «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології» спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.:М.М.Шовкалюк, О.І.Яценко - Електрон. текст. дані (1 файл). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. - 68 с. https://ela.kpi.ua/handle/123456789/77242

28. Методичні рекомендації до виконання розділу «Охорона праці та пожежна безпека» у кваліфікаційній роботі : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра спец. 141 / уклад.: Л. Д. Третякова, Л. О. Мітюк. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026. – 58 с.